



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI "KABELOVÁ PŘÍCHYTKA"

PRODUCTION OF THE COMPONENT "CABLE CLAMP"

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Josef Hráček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Josef Hráček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba součásti "Kabelová přichytka"

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem zadání bude zpracovat možnosti výroby zadané součásti, navrhnout technologii výroby a vypracovat konstrukční řešení nástroje

Cíle bakalářské práce:

- Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.
- Literární studie vhodných technologií.
- Vypracování technologického postupu výroby na základě potřebných výpočtů.
- Konstrukční řešení nástroje postupového nástroje.
- Ekonomické vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárnenia, 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. U.S. (USA) : Industrial Press Inc., 2005. ISBN 978-08-311-3259-0.

BIRZER, Franz. Forming and fineblanking : cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts. 1st edition. Landsberg/Lech : Verl. Moderne Industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4.

DILLINGER, Josef, et al. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Z něm. orig. Fachkunde Metall přeložil Jiří Handlíř. 55. vyd. Praha : Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem výroby konzole kabelové přichytky, která slouží pro upevnování kabelů. Součást je vyráběna z plechu korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 o tloušťce 2 mm a o velikosti roční výrobní série 200 000 ks. Z porovnání výrobních možností byla zvolena výroba pomocí postupového sdruženého nástroje. Po zhodnocení technologičnosti, stanovení rozvinutého tvaru, rozmístění součástky na pásu a zvolení svitků plechu jako polotovaru byl stanoven výrobní postup skládající se z pěti kroků. Dle postupu výroby a technologických i konstrukčních výpočtů byl zkonstruován nástroj. Jako vhodný stroj pro výrobu byl zvolen výstředníkový lis S 160 E od firmy Šmeral Brno a.s. Pomocí ekonomického zhodnocení byla vypočtena tržní cena na 25 Kč se 42 % marží. Bod zvratu byl stanoven na 38 970 ks.

Klíčová slova

kabelová přichytka, postupový sdružený nástroj, stříhání, ohýbání, ocel X5CrNi18-10

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the suggestion of a cable clamp bracket, which is used for fastening cables. The component is made from a stainless steel sheet X5CrNi18-10 with a thickness of 2 mm and manufacturing production 200 000 pieces per year. Through comparing the manufacturing options, the production based on a progressive combination tool was chosen. By considering the viability, setting the unrolled shape, placing the part on the strip, and choosing the coil as the semi-finished product, the manufacturing process, consisting of five steps, was selected. In accordance with manufacturing methods and, technological and construction calculation the tool was constructed. Eccentric press machine S 160 E, by Šmeral Brno a.s., was selected as suitable machine. Employing economical evaluation, the market value was set at 25 Kč, with a 42% margin. The turning point was set at 38 970 pieces.

Key words

cable clamp, progressive combination tool, cutting, bending, steel X5CrNi18-10

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRÁČEK, Josef. *Výroba součásti "Kabelová příchytka"* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139644>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba součásti "Kabelová příchytky" vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně dne 20.5.2022

místo, datum

Josef Hráček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za podporu během studia.

OBSAH

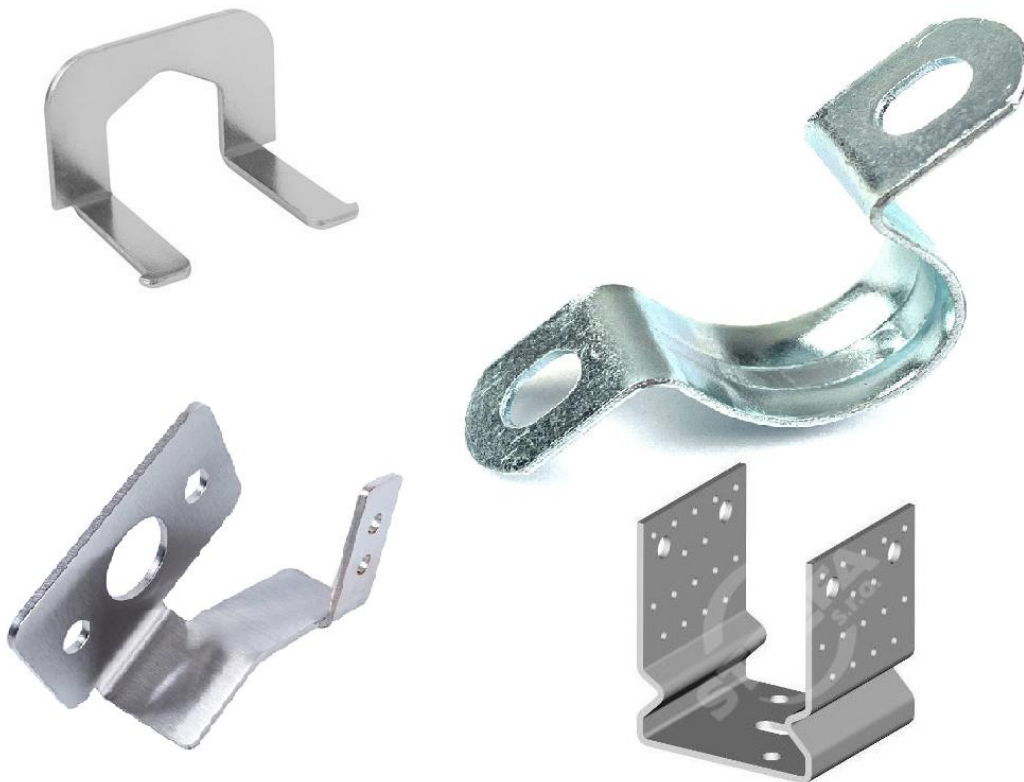
ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Výrobní možnosti součástí	11
2 TECHNOLOGIE VÝROBY	14
2.1 Stříhání	14
2.1.1 Střížná mezera a vůle.....	15
2.1.2 Rozmístění výstřížků	16
2.2 Ohýbání	17
2.2.1 Neutrální vrstva	17
2.2.2 Odpružení a minimální, maximální poloměr ohybu.....	18
2.3 Síla a práce	19
2.4 Nástroje	21
2.5 Stroje	24
2.6 Technologičnost	24
3 NÁVRH VÝROBY	26
3.1 Rozvinutý tvar	27
3.2 Rozmístění výstřížků	27
3.3 Volba polotovaru	28
3.4 Výrobní postup	32
3.5 Síla a práce	33
3.5.1 Těžiště sil.....	35
3.5.2 Další konstrukční výpočty	36
3.6 Volba stroje	37
3.7 Popis nástroje	38
4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	40
ZÁVĚR.....	43
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	44
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	47
SEZNAM PŘÍLOH.....	50

ÚVOD

Technologie tváření, která patří mezi metody zpracování kovů spolu s obráběním, odléváním a svařováním, má významné postavení ve strojírenské výrobě jak hotových dílů, tak i polotovarů. Její výhodou je, že patří k nejhospodárnějším technologiím z důvodu úspory materiálu, energie a také kvůli zlepšení jakosti a vysoké produktivity práce. Metoda se používá hlavně při sériové, velkosériové a hromadné výrobě, ale dá se použít i při kusové a malosériové výrobě. [1; 2]

Při všech typech tváření se výrobky tvoří plastickou (trvalou) deformací výchozího polotovaru pomocí vnějších sil bez porušení soudržnosti materiálu kromě metody stříhání, kde je porušení soudržnosti žádoucí. Dělí se dle teploty, při které je prováděno na tváření za studena, což je při pokojové teplotě, a za tepla, kdy probíhá při vyšší teplotě, než je rekrystalizační teplota materiálu. [1; 2; 3; 4; 5; 6]

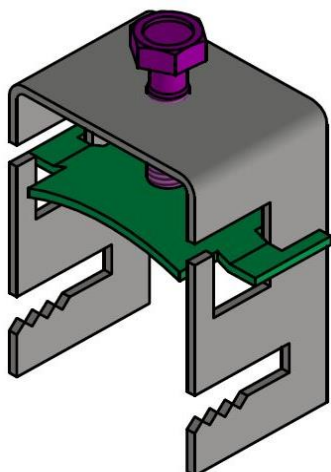
Tváření se dále dělí na objemové a plošné. Při objemovém je využívána změna tvaru a průřezu výchozího materiálu. Mezi objemové metody je zařazeno válcování, protlačování, volné a zápusťkové kování. Při plošném se průřez materiálu téměř nemění a mezi jeho metody patří stříhání, ohýbání, zakružování a tažení. Ukázky takto zhotovených součástí jsou na obr. 1. A právě na technologii plošného tváření bude tato bakalářská práce zaměřena. [2; 3; 4; 6]



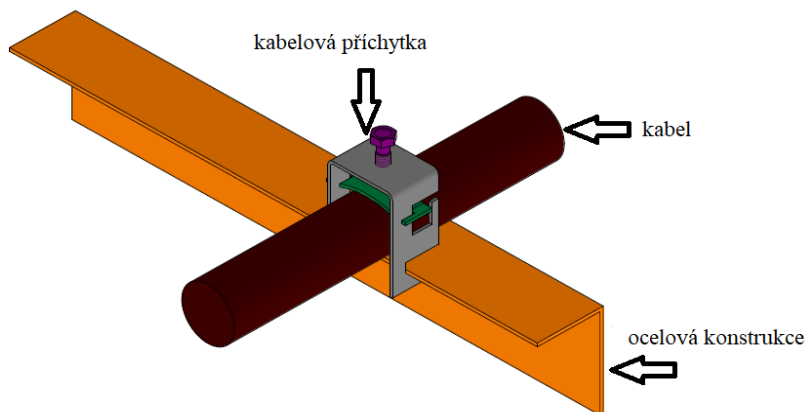
Obr. 1 Výrobky zhotovené plošným tvářením [7; 8; 9; 10].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešená součást je kabelová přichytka, viz obr. 2. Úkolem práce je navrhnout a zpracovat její postup výroby. Velikost výrobní série je plánována na 200 000 ks/rok. Kabelová přichytka se používá k upevňování kabelů nebo i v menším provedení impulsního potrubí především k ocelovým konstrukcím. Její použití je znázorněno na obr. 3.

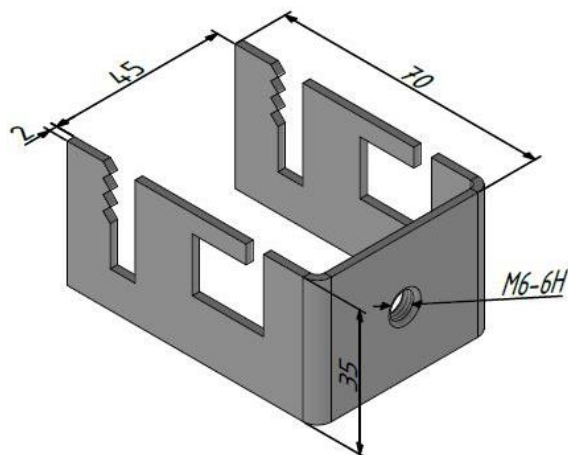


Obr. 2 Kabelová přichytka.



Obr. 3 Použití kabelové přichytky.

Kabelová přichytka se skládá z více komponentů. Konkrétněji z hlavní konzole, ve které je nasazen přítlačný plíšek ve tvaru vaničky. Tvar plíšku je z důvodu lepšího obepínání kabelů. Na plíšek dosedá šroub M6x35, který je další a poslední komponentou. Je zašroubován v konzoli a jeho pohybem se aretuje kabel. Práce je zaměřena pouze na návrh výroby hlavní konzole kabelové přichytky, která je znázorněna s hlavními rozměry na obr. 4.



Obr. 4 Konzole přichytky s hlavními rozměry.

Součást je vyrobena z plechu o tloušťce 2 mm. Je ve tvaru U a obsahuje několik otvorů. Na straně mezi ohnutými částmi je uprostřed otvor s prolisem, který obsahuje vnitřní metrický závit M6-6H. Na bočních stranách jsou stejné otvory sestávající se z otvorů ve tvaru připomínající písmeno L, které slouží k uchycení přítlačného plíšku, a ve tvaru písmene I s částečným drážkováním ve tvaru písmene V pro zabránění pohybu přichytky po ocelových konstrukcích. Na součást nejsou kladeny žádné zvýšené nároky na přesnost nebo kvalitu ploch. Mezní úchytky všech rozměrů jsou dle normy ČSN ISO 2768-1 s třídou přesnosti m (střední). [11]

Při volbě materiálu součásti bylo přihlédnuto, že se přichytka může nacházet i v horších povětrnostních podmínkách. Proto jako materiál bude použita ocel X5CrNi18-10, což je austenitická korozivzdorná ocel. Dle ČSN je označována jako ocel 17 240 a je jednou z nejrozšířenějších a nejpoužívanějších korozivzdorných ocelí. Je hlubokotažná, odolná proti opotřebení, dobře svařitelná a leštitelná. Její mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v tabulce 1 a materiálový list je v příloze 1. [2; 12; 13; 14; 15; 16]

Tab. 1 Mechanické a chemické vlastnosti oceli X5CrNi18-10 [14; 15].

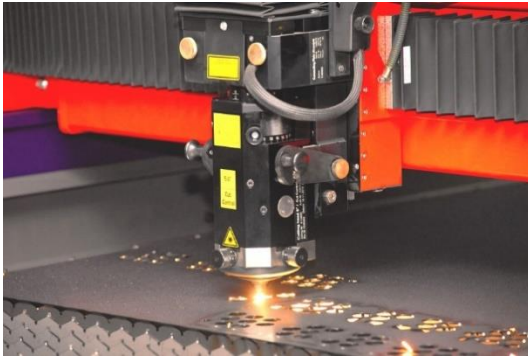
Materiál		Ocel X5CrNi18-10 (1.4301)					
Mechanické vlastnosti							
Mez pevnosti Rm [MPa]		Tažnost A [%]			Mez kluzu Re [MPa]		
540-750		45			190-230		
Chemické složení							
C [hm %]	Si [hm %]	Mn [hm %]	P [hm %]	S [hm %]	Cr [hm %]	Ni [hm %]	N [hm %]
max 0,07	max 1,00	max 2,00	max 0,045	max 0,015	17-19,5	8-10,5	max 0,11

Jako materiál by se dala použít i jakostní nelegovaná ocel. Pro její ochranu proti korozi by se muselo provést její žárové pokovení. Jelikož ale bylo zadáno použití korozivzdorné oceli, tak na volbě materiálu se nic nemění.

1.1 Výrobní možnosti součásti

Nabízí se několik možností výroby pro výrobu konzole kabelové přichytka. Vzhledem k tvaru součásti je dané, že nejdříve se vytvoří její rozvinutý tvar, který se dále ohne do konečného stavu. Součást se dá vyrobit použitím konvenčních způsobů plošného tváření (stříhání a ohýbání). Další možností výroby je použití nekonvenčních způsobů pro dělení materiálu a následné ohnutí při použití ohýbacího nástroje. [1; 2; 5] Nekonvenční způsoby dělení jsou:

- Řezání laserem – probíhá pomocí laserového paprsku, viz obr. 5, což je úzký svazek monochromatického záření pracující na principu stimulované emise. Při dopadu paprsku na materiál se v místě dopadu materiál ohřívá natolik, že se roztaví nebo odpaří a z místa řezu je odfukován inertními plyny, většinou dusíkem nebo argonem. Dle způsobu řezání se metody dělí na oxidační a tavné. Výhoda při použití řezání laseru je velká řezná rychlost a kvalitní řez. Naopak nevýhodou je vysoká pořizovací cena a nutná bezpečnostní opatření (odsávání kouře a plynů). [2; 17; 18; 19]
- Řezání plazmou (obr. 6) – probíhá pomocí plazmy, což je ionizovaný plyn ohřátý na vysokou teplotu (30 000 °C). Vznik paprsku plazmatu spočívá v zapálení elektrického oblouku mezi wolframovou elektrodou a řezací tryskou. Při průchodu řezacího plynu obloukem se plyn mění na plazmu a je urychlován elektrickým polem mezi elektrodou a řezaným materiálem. Při dopadu paprsek plazmatu taví a ihned odpařuje materiál a díky jeho proudění je roztavený materiál z místa odstraňován. Metoda je vhodná především pro vysoce legované oceli, ale dají se řezat všechny kovové materiály. Mezi výhody patří vysoká řezná rychlost a kvalita řezu. Nevýhodou jsou bezpečnostní opatření proti hluku, prachu, plynům, UV záření a vysoká pořizovací cena. [2; 17; 20]



Obr. 5 Řezání laserem [19].



Obr. 6 Řezání plazmou [21].

- Řezání vodním paprskem (obr. 7) – princip spočívá ve stlačení vody na tlak až 400 MPa, která se vede do řezací hlavy. Tam se může mísit s abrazivem, jenž se používá pro tvrdší materiály. A dále přes trysku vystřikuje úzký paprsek vysokou rychlostí ven, kde narušuje povrch materiálu. Výhodou vodního paprsku je jeho univerzálnost, dají se řezat všechny druhy ocelí i další materiály a nezpůsobuje žádné tepelné účinky. Mezi nevýhody patří vysoké náklady, kontakt s vodou a hluk. [2; 17; 22; 23]

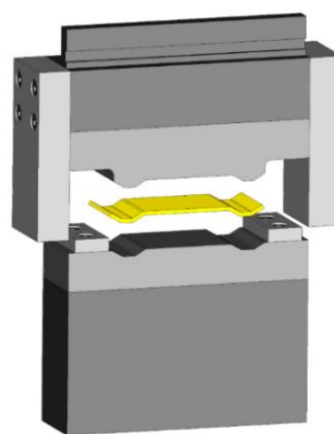


Obr. 7 Řezání vodním paprskem [23].

Výroba součásti lze provést i použitím dvou nástrojů (střížného a ohýbacího) – výroba probíhá nejprve na střížném nástroji (obr. 8), který může být jednoduchý nebo postupový, kde se provede vystřížení požadovaného rozvinutého tvaru. Poté je rozvinutý tvar ohnut na ohýbacím nástroji (obr. 9) do požadovaného tvaru. Proto je nutné mít pro výrobu dva nástroje, ke kterým jsou buď potřebné dva tvářecí stroje nebo jeden tvářecí stroj, kde se nástroje vyměňují. K nevýhodám patří mezioperační přeprava materiálu a větší náklady na provoz. [2; 5; 17; 24]



Obr. 8 Střížný nástroj [25].



Obr. 9 Ohýbací nástroj [26].

Pro ohyb lze použít i ohraňování (obr. 10). Metoda nahrazuje konvenční ohýbání a je prováděna na CNC ohraňovacích lisech. Nástroj se skládá z pohyblivého razníku a z nepohyblivé matrice. Výhodou je možnost provádění dlouhých ohybů a nevýhodou nepoužitelnost pásů nebo svitků plechu. [1; 2; 5; 27]



Obr. 10 Ohraňování [27].

Pro výrobu lze použít také sdružený nástroj, kde výroba probíhá v několika pracovních operacích na jednom nástroji. Sdružený nástroj je zpravidla složen z prostřihovacích a tvářecích nástrojů. Jeho výhodou je vysoká produktivita, protože není potřeba mezioperační přeprava materiálu. Ale nevýhodou jsou pořizovací náklady a větší potřebný výkon tvářecích strojů oproti použitím dvou nástrojů. [1; 2; 24; 28]

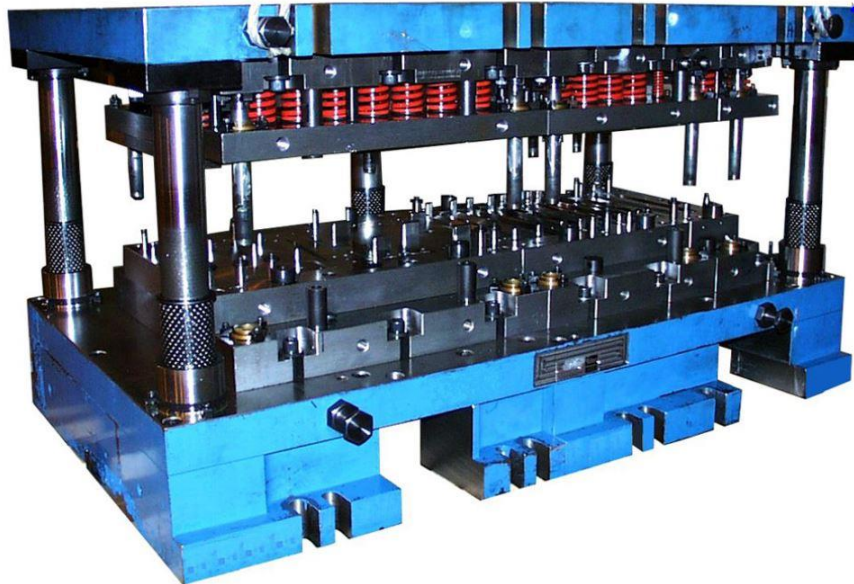
Tab. 2 Porovnání jednotlivých metod [2; 17; 18; 20; 24].

	Nekonvenční metody a ohýbací nástroj	Střižný a ohýbací nástroj	Postupový sdružený nástroj
Přesnost	++	+	+
Mezioperační přeprava	-	-	+
TOO	- (vodní paprsek +)	+	+
Cena	-	+	+

Po prostudování a porovnání jednotlivých metod výroby i pomocí tab. 2 s ohledem na velikost výrobní série, tvar a rozměry součásti se jako nejvhodnější varianta jeví výroba pomocí postupového sdruženého nástroje. Vzhledem k tomu je tato možnost vybrána a teorie spolu s návrhem bude na něj zaměřena.

2 TECHNOLOGIE VÝROBY

Při výrobě součásti bude tedy použit na základě zhodnocení postupový sružený nástroj (obr. 11), který je vhodný pro velkosériovou výrobu. Nástroj bude kombinovat stříh a ohyb. Proto literární rešerše bude v následujících podkapitolách zaměřena na stříhání a ohýbání. [1; 2; 24; 28]



Obr. 11 Sružený nástroj [29].

2.1 Stříhání

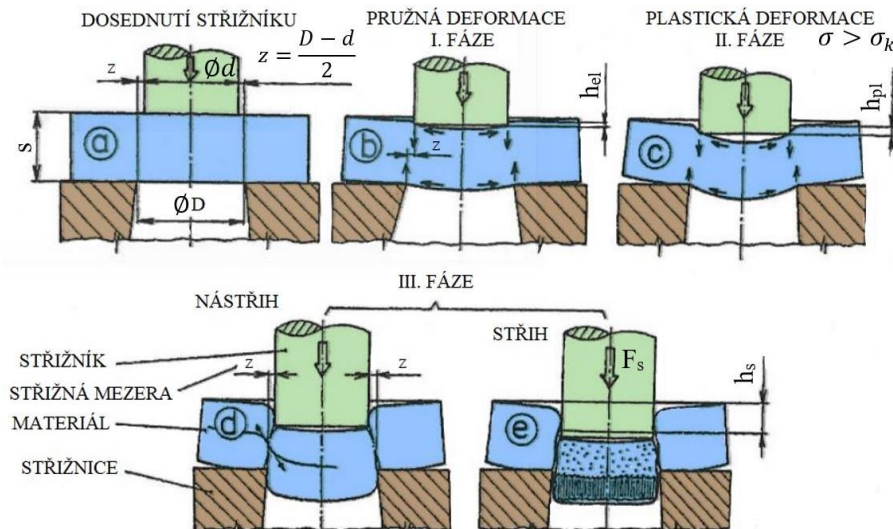
Stříhání je základní metoda tváření, která ale nesplňuje jeho definici, protože dochází k porušení soudržnosti materiálu. Je definováno jako postupné nebo současné oddělování částic materiálu pomocí stříhadel. Částice se oddělují podél křivky stříhu, kterou tvoří obvod výstřížku. Výstřížek se oddělí dříve, než střížník projde celou tloušťkou stříhaného materiálu. Poté je vytlačen. Kvůli tomu nejsou okraje střížné plochy zcela rovinné a střížná plocha nemá v celé ploše stejnou drsnost. Přesnost a kvalita střížné plochy je ovlivněna mnoha faktory, jako je velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu, způsob stříhání a ovlivňuje je také použitý střížný nástroj nebo lis. [1; 4; 5; 6; 24; 30; 31; 32; 33]

Průběh střížného procesu je možné rozdělit do několika základních fází, viz obr. 12, přičemž stříhání začíná dosednutím střížníku na stříhaný materiál. Hloubka vniknutí střížníku h_{a1} závisí hlavně na mechanických vlastnostech materiálu a většinou bývá kolem 5 až 8 % tloušťky materiálu. [1; 4; 30; 31]

Druhá fáze je plastický stříh, kdy se materiál odděluje smykovými napětími. Na druhu materiálu a jeho mechanických vlastnostech závisí hloubka vniku h_{p1} střížné hrany do stříhaného materiálu. Obvykle bývá 10 až 25 % tloušťky materiálu. [1; 4; 30; 31]

Ve třetí fázi dosáhne napětí meze pevnosti ve stříhu. Převahou tahových napětí v oddělovaném průřezu dochází k rychlému šíření trhlin a následnému lomu, čímž dojde k oddělení materiálu. Rychlost vzniku trhlinek a jejich postupu je závislá opět na druhu materiálu, jeho mechanických vlastnostech a velikosti střížné vůle. Proto hloubka vniku h_s střížníku do stříhaného materiálu bývá 10 až 60 % tloušťky materiálu. [1; 4; 30; 31]

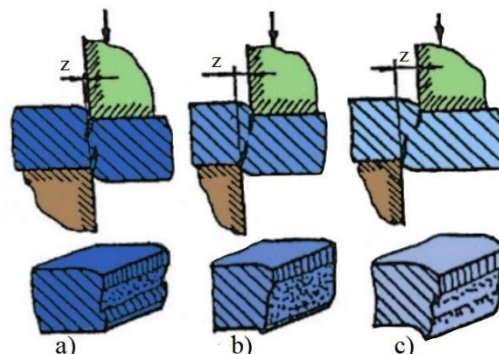
Stříhání se ukončí vytlačením výstřížku nebo odstřížku z polotovaru. Probíhá to už po oddělení materiálu. Někdy se označuje jako čtvrtá fáze. [1]



Obr. 12 Průběh střížného procesu [4].

2.1.1 Střížná mezera a vůle

Střížná mezera je vzdálenost mezi protilehlými střížnými hranami a střížná vůle je součet střížných mezer po obou stranách střížníku, když je křivka stříhu uzavřená. Jejich velikosti mají významný vliv na trvanlivost střížných hran, kvalitu střížné plochy a velikost střížné síly. Optimální střížná vůle je taková vůle, při které je střížná síla nejmenší a kvalita střížné plochy je vyhovující. Vliv střížné mezery je znázorněn na obr. 13, kde a) znázorňuje malou, b) optimální a c) velkou střížnou mezera. [1; 2; 24; 30; 31; 32]



Obr. 13 Vliv střížné mezery [1].

Na novém nástroji se střížná mezera volí na spodní hranici doporučené střížné mezery z důvodu jeho opotřebení. S ohledem na to, jestli jde o vystřihování nebo děrování se volí rozměry střížnice a střížníku. Při vystřihování (obr. 14a) je rozměr střížnice volen shodně s rozměrem výstřížku a střížník je zmenšen o střížnou vůli a při děrování se rozměr střížníku volí shodně s rozměrem otvoru díry a střížnice se zvětší o hodnotu střížné vůle (obr. 14b). [24; 32] Velikost střížné vůle v lze pro plechy o tloušťce do 3 mm stanovit podle vztahu [34]:

$$z = \frac{v}{2} = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.1)$$

kde: z - střížná mezera [mm]

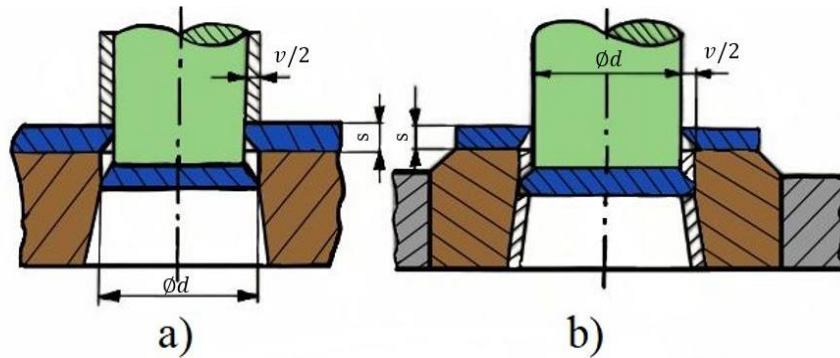
c - koeficient závislý na druhu stříhání ($c = 0,005$ až $0,035$) [-]

s - tloušťka stříhaného materiálu [mm]

τ_s - mez pevnosti materiálu ve stříhu [MPa]

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m \quad (2.2)$$

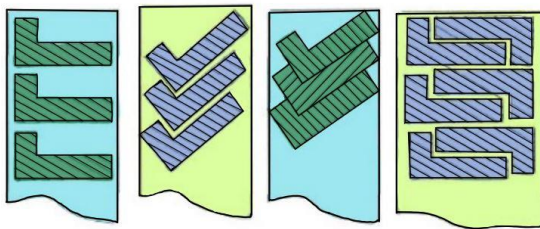
kde: R_m - mez pevnosti v tahu [MPa]



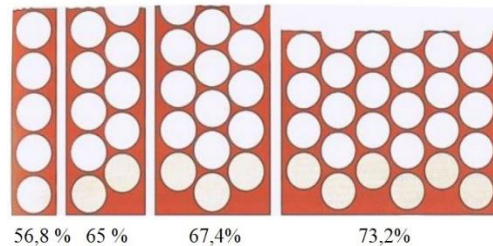
Obr. 14 Schéma střížné vůle [24].

2.1.2 Rozmístění výstřížků

Jelikož materiál tvoří hlavní část z celkových nákladů na výrobu, tak je zřejmé, že se chce dosáhnout co nejmenšího odpadu a tím co největší využitelnosti materiálu, čehož se dá dosáhnout pomocí rozmístění výstřížků na pásu plechu. Mohou být např. rozmístěny jako přímé, šikmé, šikmé bez prepážky nebo střídavé (obr. 15). Jejich rozmístění může být také jednořadé nebo víceřadé, jak je zřejmé z obr. 16. Při víceřadém se dá obvykle dosáhnout větší využitelnosti. [5; 24; 28; 30; 31]



Obr. 15 Rozmístění výstřížků [30].



Obr. 16 Jednořadé a víceřadé rozmístění [28].

Využití materiálu by mělo být minimálně 70 %. Pokud je využití menší, musí se provést úprava orientace výstřížku na pásu nebo úprava tvaru výstřížku. Využitelnost se dá zjistit dle vzorce: [30; 31]

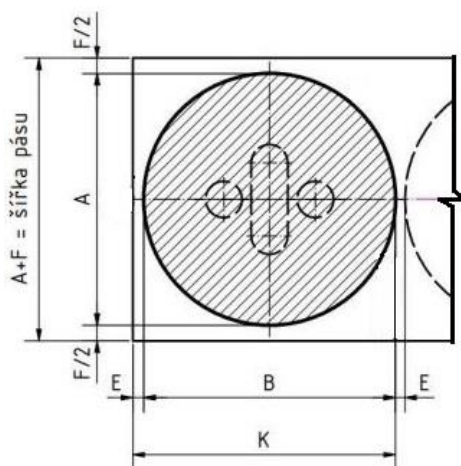
$$\eta = \frac{N \cdot S_v}{S_t} \cdot 100 \quad (2.3)$$

kde: η - využití materiálu [%]
 N - počet kusů výstřížku [ks]
 S_v - plocha výstřížku [mm²]
 S_t - plocha polotovaru [mm²]

Mezi jednotlivými výstřížky je většinou přídavek, nazývaný se můstek **E**. Jeho velikost závisí na tloušťce a druhu materiálu. Na stejném závisí i velikost postranního odpadu **F**. Na obr. 17 je znázorněno, jak se vypočítá šířka pásu a krok **K**. Šířka pásu je součet výšky výstřížku a postranního odpadu a krok je roven součtu šířky výstřížku a můstku dle: [2; 5; 24; 32]

$$K = B + E_m \quad (2.4)$$

kde: K - krok [mm]
 B - délka výstřížku [mm]
 E_m - můstek [mm]

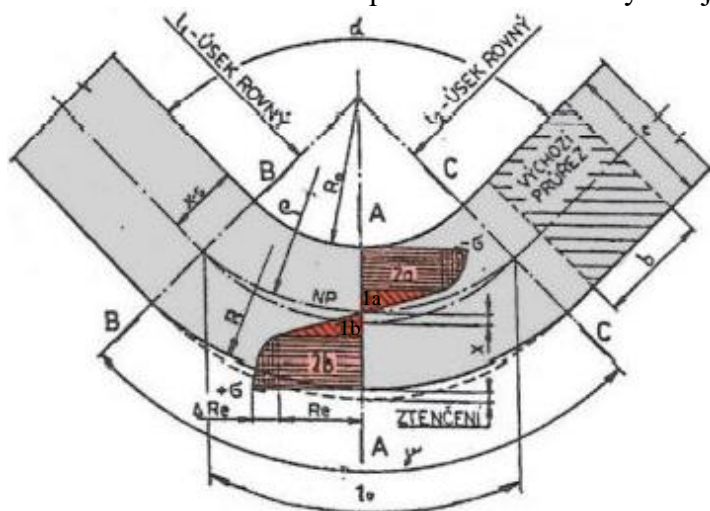


Obr. 17 Krok.

2.2 Ohýbání

Ohýbání je proces tváření, při kterém se působením ohýbacích sil nebo ohybových momentů na polotovar vyvolá jeho trvalé deformování. Vytváří se oblá hrana nebo oblá plocha na výlisku. Požadovaný tvar se získá u většiny součástí z plechů, drátů a tyčí i několika ohyby. Většinou se ohýbá za studena pomocí nástrojů, které se nazývají ohýbadla skládající se z ohybníku a ohybnice. Ohýbání rozdělujeme na ohýbání do tvaru U, na které bude teorie, a do tvaru V. [1; 2; 5; 13; 24; 30; 35]

Při ohýbání nastává pružně-plastická deformace materiálu. Materiál se na vnitřní straně ohybu vlivem tlakových napětí v podélném směru stlačuje a v příčném směru se rozšiřuje. Na vnější straně ohybu se vlivem tahových napětí roztahuje v podélném směru a v příčném se zužuje. Toto platí především u úzkých tyčí obdélníkového průřezu. Při ohýbání širokých pásů plechu nedochází k zřetelné změně průřezu. Schéma ohýbání je znázorněno na obr. 18. [1; 13]



- 1a, 1b – oblast pružné deformace
- 2a, 2b – oblast plastické deformace se zpevněním ΔR_e
- x – velikost posunutí neutrální vrstvy (NP) od původní osy průřezu
- R_0 – poloměr ohybu
- l_0 – délka ohnutého úseku v neutrální vrstvě
- ρ – poloměr neutrální vrstvy
- γ – úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180 - \alpha$)
- α – úhel ohybu

Obr. 18 Schéma ohýbání [13].

2.2.1 Neutrální vrstva

Mezi stlačovanými a natahovanými vrstvami materiálu existuje vrstva, ve které je napětí nulové. Nazývá se neutrální vrstva a její poloha je důležitá pro stanovení rozměrů rozvinutého polotovaru ohýbané součásti. Délka polotovaru je dána součtem délek rovných úseků, které se dají odečíst z výkresu, a ohnutých úseků neutrální vrstvy. Délky ohnutých úseků se musí spočítat pomocí vztahů dle: [1; 5; 13; 24; 30; 35]

$$\rho = R_0 + x \cdot s \quad (2.5)$$

kde: ρ - poloměr neutrální vrstvy [mm]
 R_0 - poloměr ohybu [mm]
 x - součinitel posunutí neutrální vrstvy, viz tab. 3 [-]

Tab. 3 Hodnoty součinitele posunutí neutrální vrstvy x [30].

R_0/s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1	1,5	2	3	4	5	10
x	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,4	0,41	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,50

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot \rho \quad (2.6)$$

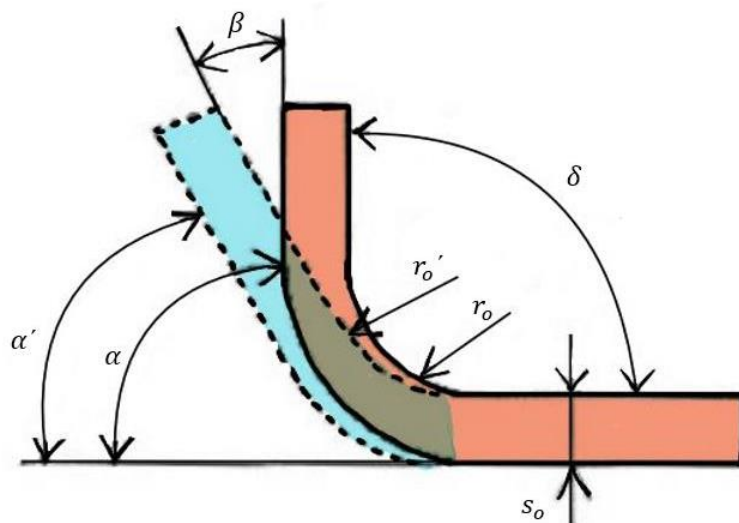
kde: l_0 - délka ohnutého úseku [mm]
 α - úhel ohybu [°]

2.2.2 Odpružení a minimální, maximální poloměr ohybu

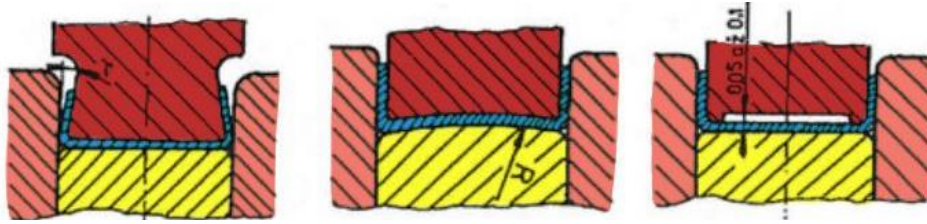
Když na součást přestane působit ohýbací síla má materiál snahu se vrátit do původního stavu. Děj se nazývá odpružení a nastane díky pružnosti materiálu. Úhel, o který se materiál vrátí, se nazývá úhel odpružení a je znázorněn na obr. 19 jako β . Jeho velikost je závislá na druhu ohýbaného materiálu, poloměru ohybu, úhlu nástroje, tloušťce ohýbaného materiálu a velikosti tlaku nástroje na konci ohýbání (kalibrovací síly). Pro snížení nebo pro eliminaci odpružení se při ohýbání do tvaru U používají konstrukční úpravy nástroje, viz obr. 20. [1; 4; 13] A úhel odpružení β se při ohýbání do tvaru „U“ se vypočte dle [13]:

$$\beta = \arctg 0,75 \cdot \frac{l_u}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (2.7)$$

kde: l_u - rameno ohybu při ohýbání do tvaru „U“ [mm]
 R_e - mez kluzu materiálu [MPa]
 E - modul pružnosti v tahu [MPa]



Obr. 19 Odpružení [1].



Obr. 20 Konstrukční úpravy pro snížení odpružení [1].

Při ohýbání je také důležité dodržet velikost minimálního a maximálního poloměru ohybu. Minimální je definován jako nejmenší vnitřní poloměr, při kterém ještě nedochází k porušení materiálu a maximální poloměr ohybu je takový poloměr, při němž v krajních vláknech dojde právě k trvalému a nevratnému přetvoření. A je první trvalý poloměr. [1; 4; 13; 24] Lze je vypočítat podle vztahů [13]:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = C \cdot s \quad (2.8)$$

kde: R_{min} - minimální poloměr ohybu [mm]
 ε_c - mezní prodloužení [-]
 C - součinitel (pro ocel 0,5 – 0,6) [-]

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad (2.9)$$

kde: R_{max} - maximální poloměr ohybu [mm]

2.3 Síla a práce

Znát velikost síly a práce je důležité pro volbu tvářecího stroje. Při jeho volbě je nutnost, aby jmenovitá síla stroje byla vyšší než celková síla, která se při použití sdruženého nástroje skládá ze součtu střížné a ohybové síly. Vztahy pro celkovou sílu F_c a pro celkovou práci A_c jsou: [36]

$$F_c = F_s + F_o \quad (2.10)$$

kde: F_s - střížná síla [N]
 F_o - ohybová síla [N]

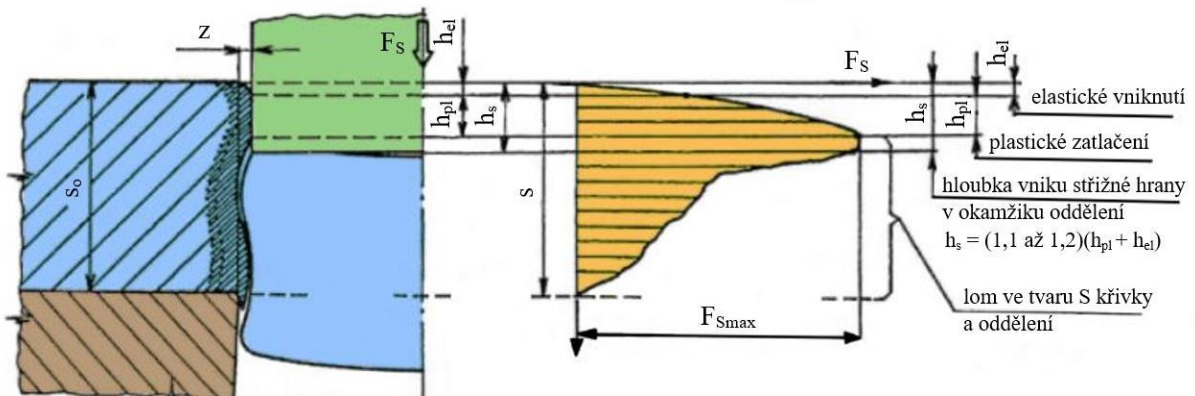
$$A_c = A_s + A_o \quad (2.11)$$

kde: A_s - střížná práce [J]
 A_o - ohybová práce [J]

Charakteristický průběh střížné síly je znázorněn na obr. 21. Je zde vidět, že při vnikání nástroje do materiálu dochází k jeho zpevnění, což způsobuje nárůst střížné síly. První mírný a plynulý pokles síly nastává v okamžiku, kdy začínají vznikat trhliny. K výraznému poklesu síly dojde po dosažení hloubky vniknutí h_s . Poté dochází k úplnému porušení lomem ve tvaru křivky „S“. [1; 4; 24; 28; 31; 32] Střížná síla F_s se určí dle vztahu [34]:

$$F_s = S \cdot n \cdot \tau_s = l \cdot s \cdot n \cdot 0,8 \cdot R_m \quad (2.12)$$

kde: S - střížná plocha [mm²]
 n - součinitel otupení nástroje ($n = 1,1$ až $1,3$) [-]
 l - délka stříhu [mm]

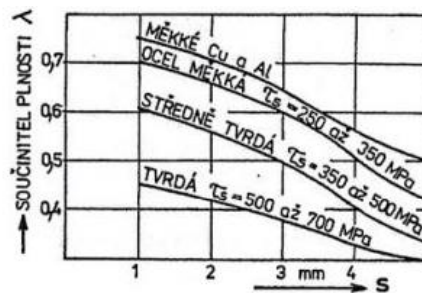


Obr. 21 Charakteristický průběh sřížné síly [4].

Pro výpočet sřížné práce je třeba zjistit součinitel plnosti, který je závislý na mezi pevnosti materiálu ve sřížhu a jeho tloušťce. Lze jej určit z grafu, viz obr. 22. A vztah je: [4]

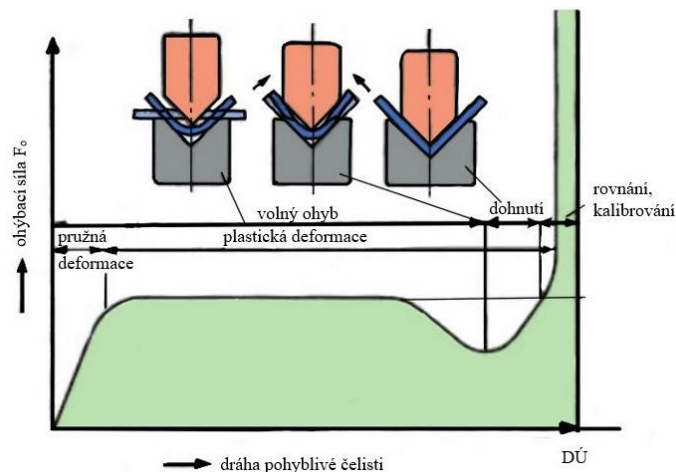
$$A_s = F_{Smax} \cdot s \cdot \lambda \quad (2.13)$$

kde: F_{Smax} - maximální sřížná síla [N]
 λ - součinitel plnosti [-]



Obr. 22 Graf ke stanovení součinitele plnosti [4].

Charakteristický průběh ohybové síly je znázorněn na obr. 23. Její průběh je rozdělen do tří fází. V první fázi ohybová síla prudce roste v oblasti pružných deformací. Ve druhé fázi po překročení meze kluzu začnou vznikat plastické deformace. Poslední fází je kalibrování, kde dochází k prudkému nárůstu síly. Ohybovou sílu F_0 při ohýbání do tvaru „U“ a ohybovou práci A_0 lze vypočítat podle vztahů: [1; 24; 35]



Obr. 23 Průběh ohybové síly [24].

$$F_o = (1 + 7 \cdot \mu) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{R_0 + s} \quad (2.14)$$

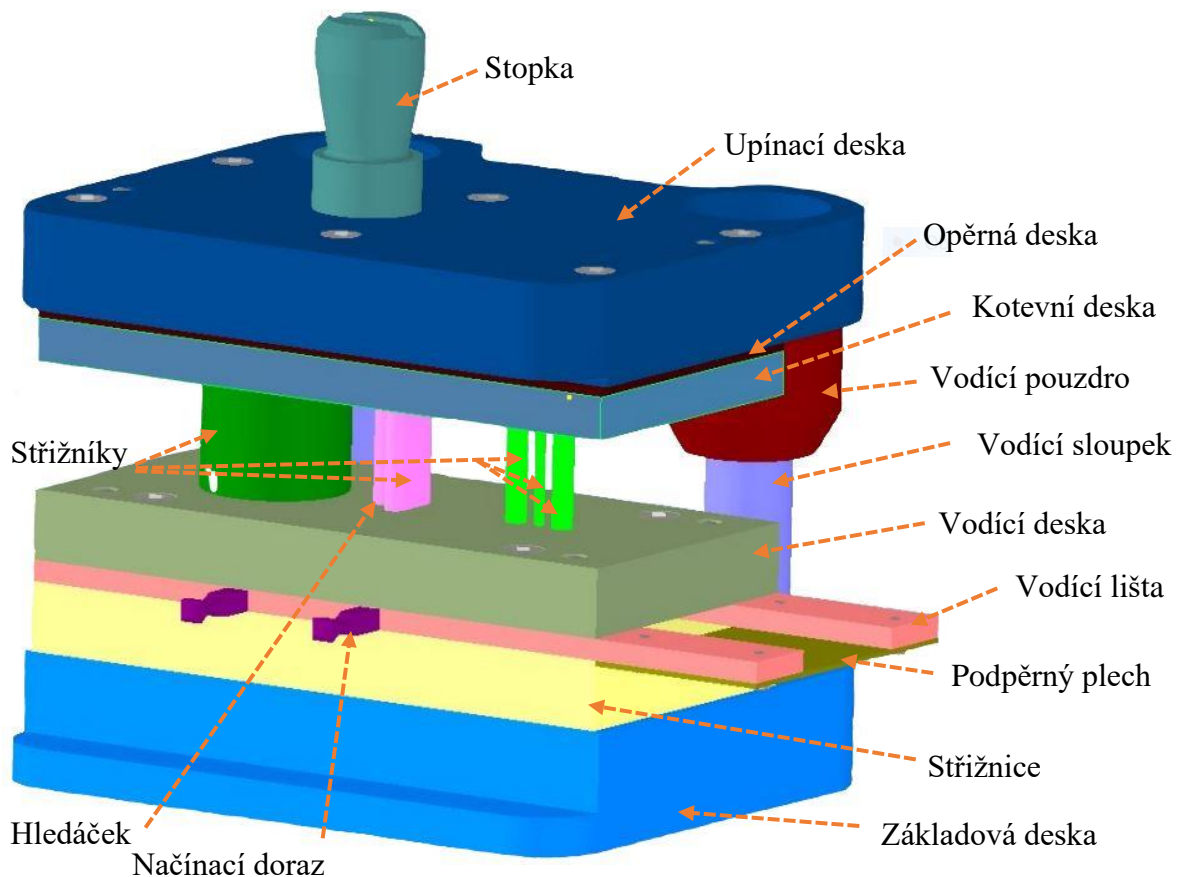
kde: μ - součinitel tření [-]
 b - šířka ohybu [mm]

$$A_o = F_o \cdot h \cdot \psi \quad (2.15)$$

kde: h - dráha ohybníku [mm]
 ψ - součinitel plnosti diagramu [-]

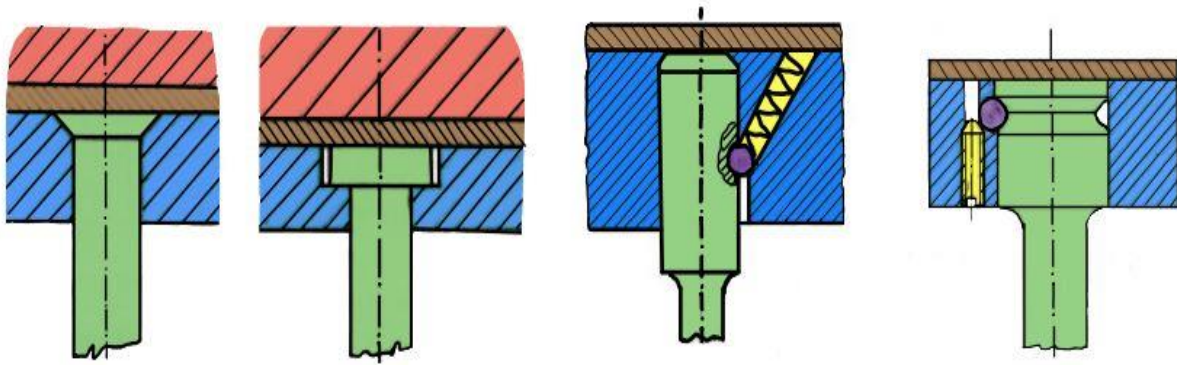
2.4 Nástroje

Nástroje na stříhání se nazývají podle jednotlivých operací např. děrovadlo, vystřihovadlo, ostřihovadlo atd. Dle postupu a druhu stříhání se dělí na stříhadla jednoduchá, vícenásobná, postupová anebo sdružená. Na obr. 24 je znázorněno postupové, které na jeden zdvih na více pracovních místech vykoná různé střížné operace. Po vykonání zdvihu se poté stříhaný polotovar posouvá o jeden krok. [1; 2; 24; 30; 37]



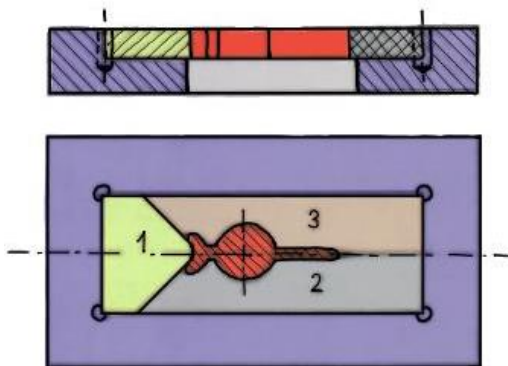
Obr. 24 Postupový střížný nástroj.

Střížný nástroj (obr. 24) se skládá hlavně z pohyblivých částí nazývajících se střížníky a z pevné části, která se nazývá střížnice. Střížníky jsou pomocí kotevní desky upnuty k upínací desce a dále přes stopku k beranu lisu. Stejně je upnut i hledáček, který slouží k přesnému ustavení polotovaru. Některé typy jejich upnutí jsou znázorněny na obr. 25. Dále mezi kotevní a upínací deskou je deska opěrná, která je kalená a její význam je v zabraňování vtlačování střížníku do upínací desky. Celé je to smontované pomocí šroubů a kolíků. Horní část nástroje je vedená pomocí vodících pouzder a vodících sloupků, které jsou zapuštěny v základové desce. Mohou být dva nebo čtyři a vodící pouzdra mohou být buď valivá nebo kluzná. [24; 30; 37]

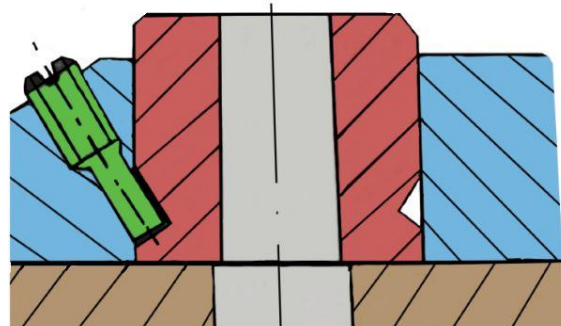


Obr. 25 Typy upnutí střížníku [30; 37].

Spodní část nástroje se skládá ze základové desky, ke které je připevněna kolíky a šrouby střížnice, vodící deska a dvě vodící lišty. K lištám je na straně připevněn podpěrný plech pro snadnější zavádění pásu. Pomocí bočních vodících lišt je zabezpečeno vedení polotovaru. V jedné liště jsou osazeny taktéž načínací dorazy sloužící k vystřihování prvních operací při zavedení nového pásu. Poté je polotovar zaveden až k hlavnímu dorazu, který dále zajišťuje stejnomořný posuv pásu. Počet dorazů je proto závislý na počtu kroků. Nad vodícími lištami je vodící deska, která slouží k vedení střížníků a hledáčku a taky jako stěrač při jejich vyjíždění z materiálu. Hlavní prvek dolní části nástroje je střížnice, která může být buď celistvá, kdy je vytvořena z jednoho kusu nástrojové oceli, složená (obr. 26) anebo vložkovaná (obr. 27). Složená jak napovídá název se skládá z více částí a používá se pro větší nebo složitější výstřižky. A vložkovaná je vyrobená z konstrukční oceli a na funkčních místech je opatřena vložkami z nástrojové oceli. [30; 37]

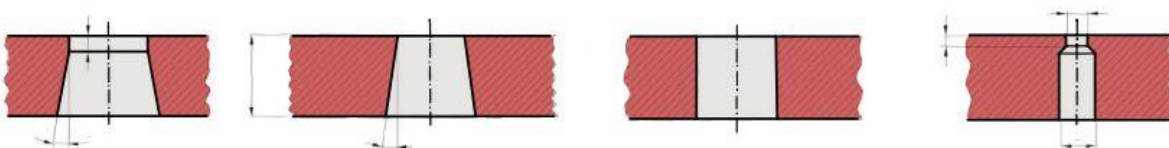


Obr. 26 Složená střížnice [37].

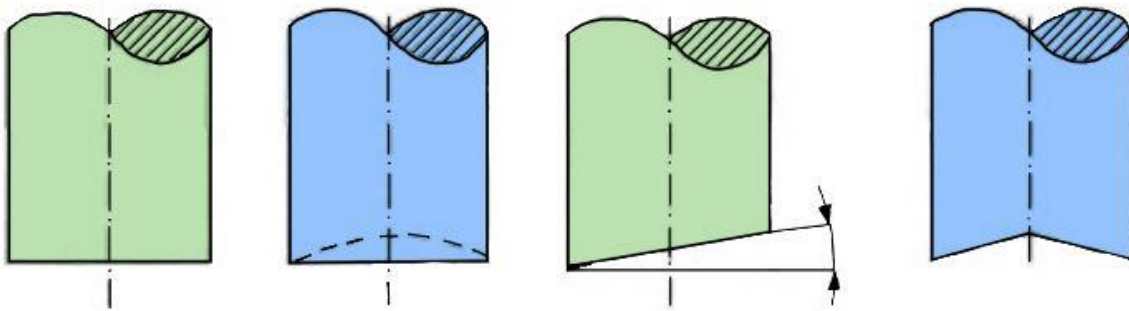


Obr. 27 Vložkovaná střížnice [37].

Jakost střížné plochy ovlivňuje mnoho faktorů. Jeden z hlavních je materiál výstřižku, druh nástroje a geometrie funkčních částí. A právě typy geometrických tvarů střížnice jsou znázorněny na obr. 28. Pro výběr geometrie se zohledňuje počet kusů nebo velikost vystřihovaných tvarů. Podobně se dají upravit i střížníky (obr. 29), jejichž čelo je povětšinou rovné a kolmé k ose. Jejich úpravou je možné snížit střížnou sílu až o 30 %. Snížit sílu je možné při použití více nástrojů také jejich rozdílnou délkou. [24; 30; 37]

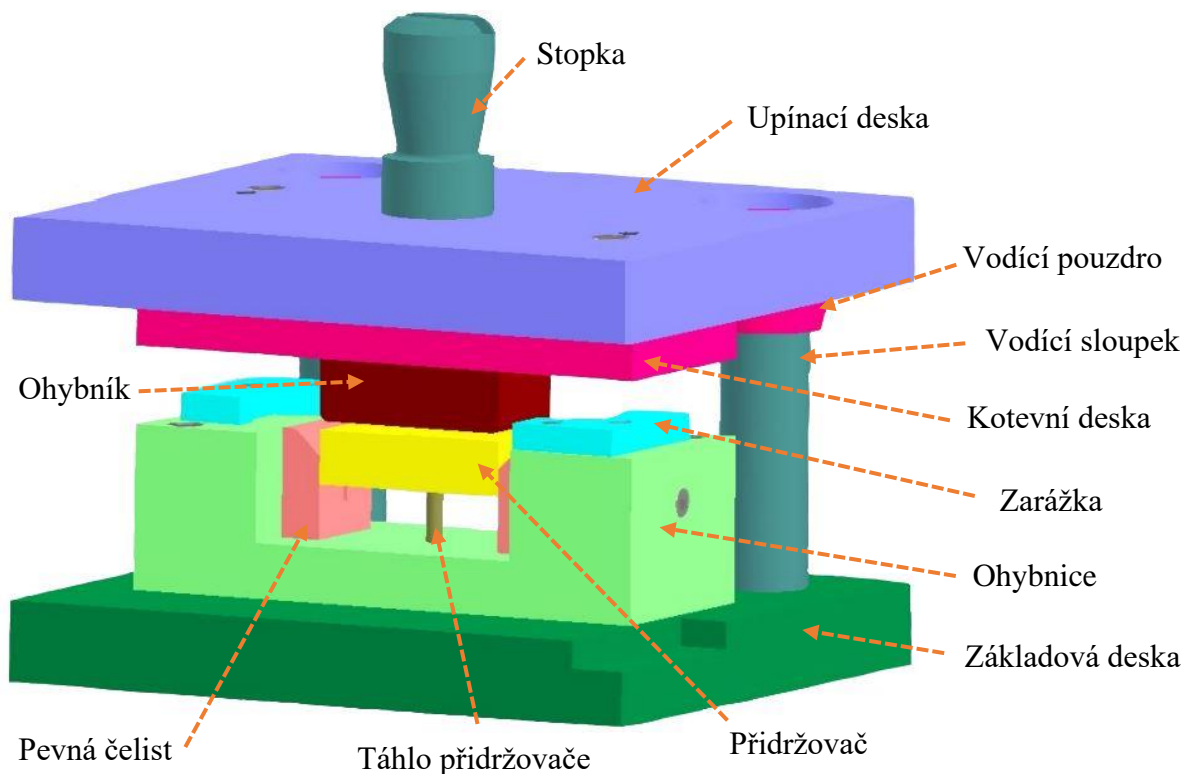


Obr. 28 Typy geometrie střížnice [30].



Obr. 29 Typy geometrie střížníku [30].

Nástroje na ohýbání se podobně jako nástroje na stříhání rozdělují na jednoduché, postupové anebo sloučené. Při jednoduchém se na jeden zdvih lisu vykoná jedna operace na jednom místě, viz obr. 30. Postupový vykoná více operací na více místech a sloučený nástroj operací vykoná víc, ale pouze na jednom pracovním místě. [1]



Obr. 30 Jednoduchý ohýbací nástroj.

Tento nástroj je složen hlavně z pohyblivého ohybníku a z ohybnice, která je pevná. Ohybník je zde ukotven přes kotevní desku k upínací desce, ve které je namontována stopka. Přes ni je nástroj připevněn k beranu lisu. Většinou je ale ohybník přímo upnut k upínací desce neboli hlavici. Horní část je tady stejně jako u střížného nástroje vedena pomocí vodících sloupků a pouzder. Sloupky jsou v dolní části zalisovány do základové desky, ke které je také spojena ohybnice, která je většinou vložkovaná podobně jako střížnice pomocí pevných čelistí. Dále jsou k ohybnici připevněny zářky sloužící pro ustavení plechu. Rovněž je zde použit přídržovač, který slouží k ulehčení nebo k nahrazení ruční manipulace po provedení ohybu, kdyby výlisek zůstal v ohybnici. Součást vysunuje pomocí táhel nebo pružin. Doporučené materiály částí stříhacích i ohýbacích nástrojů jsou uvedeny v příloze 2. [30; 37]

2.5 Stroje

Tvářecí stroj je výrobní stroj, který zpracovává polotovary ve výrobek, aniž by se měnil objem polotovaru. Tvářecích strojů je poměrně hodně a rozdělují se dle několika kritérií. Pro plošné tvářecí operace se nejvíce hodí lis, které pracující převážně tlakem pracovní části (beranu), jenž koná nejčastěji přímočarý pohyb vratný. Lisy se dále dělí dle druhu hnací energie na mechanické, hydraulické, pneumatické, parní atd. U mechanických lisů (obr. 31) je tvářecí síla převáděna ze zdroje mechanicky, a to buď pákou, klikou, vřetenem, vačkou, pružinou nebo kolenem. Síla a rychlost beranu je u nich závislá na zdvihu a síla není během něj konstantní. Maximální sílu dosahují až během dolní úvratě. U hydraulických (obr. 32) je síla převáděna pomocí tlaku kapaliny a síla je během zdvihu konstantní. A právě jmenovitá síla stroje je hlavní kritérium pro jeho volbu, protože jmenovitá síla musí být větší než celková síla potřebná k tváření. [2; 36; 38; 39]



Obr. 31 Mechanický výstředníkový lis [40].

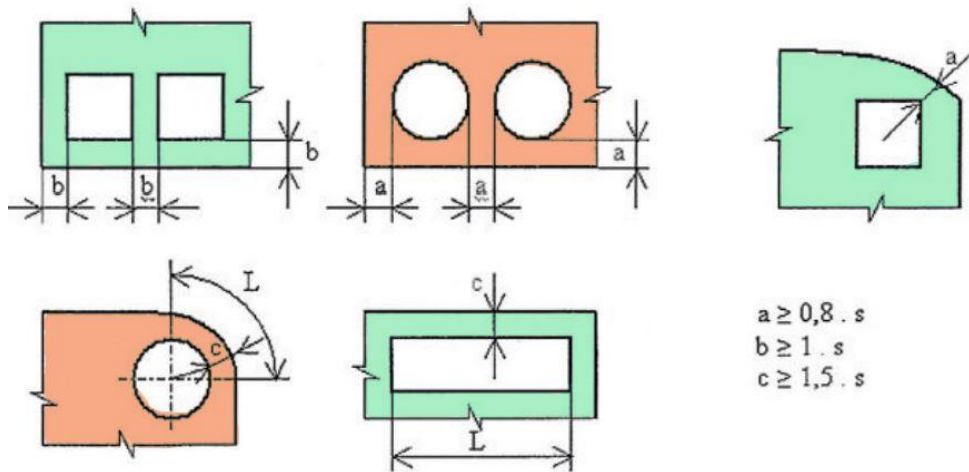


Obr. 32 Hydraulický lis [41].

2.6 Technologičnost

Z důvodu dosažení maximální hospodárnosti výroby se bere ohled na technologičnost výstřížků. Tipy pro zhodnocení výstřížků [1; 24]:

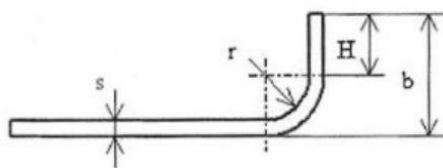
- nepředepisovat přesnost výstřížků (dosahuje se přesnosti IT 12 až IT 14, v některých případech je možné dosáhnout přesnosti IT 9 až IT 11),
- každé zvýšení přesnosti zvyšuje náklady na výrobu,
- nepředepisovat menší drsnost povrchu střížné plochy než $Ra = 3,2$ až $6,3 \mu m$,
- nejmenší otvor má mít průměr větší než 1 mm,
- dodržet minimální vzdálenosti mezi otvory a otvorů od krajů (obr. 33),
- dle možnosti by měli být rohy sražené nebo zaoblené,
- při děrování volit dle možnosti kruhové otvory,
- při vystřihování jsou kruhové otvory nevhodné z hlediska využití materiálu.



Obr. 33 Technologičnost výstřižků [1].

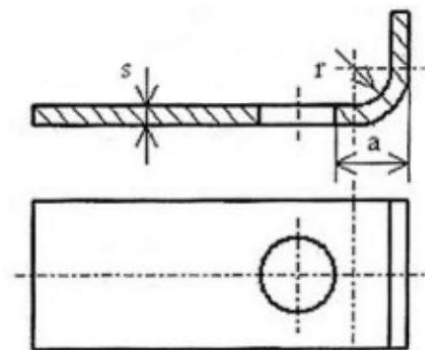
Podobně jako u výstřižků, tak i u ohýbaných výlisků je třeba zhodnotit jejich technologičnost. Je třeba brát do úvahy tyto zásady technologičnosti [1; 24; 42]:

- délka ramene ohýbaného výlisku má splňovat podmínku, viz obr. 34,
- poloměr ohybu dle možnosti volit malý, aby byl úhel odpružení co nejmenší,
- konstrukční prvky (otvory) mají být v dostatečné vzdálenosti od hrany ohybu, viz obr. 35,
- poloměr ohybu volit větší než minimální a menší než maximální poloměr ohybu
- složité tvary navrhovat tak, aby počet ohybů byl co nejmenší,
- výlisky s velkými poloměry ohybu se doporučují v místě vyztužit prolisy,
- osa ohybu má být kolmá na směr válcování (jinak je výlisek náchylný na praskání na vnější straně ohybu),
- dát přednost ohýbání s kalibrací oproti volnému ohybu,
- jsou-li obsaženy přesné otvory je nutné je vystříhnout dodatečně,
- v místě ohybu dochází vždy ke ztenčení materiálu (až 20 %).



když $r_0 < 1 \text{ mm}$, tak $b_1 \geq 3 \cdot s + r_0$
 když $r_0 > 1 \text{ mm}$, tak $b_1 \geq (2,5 \div 3) \cdot s$

Obr. 34 Minimální délka ramene [1].



$$a \geq r_0 + 2 \cdot s$$

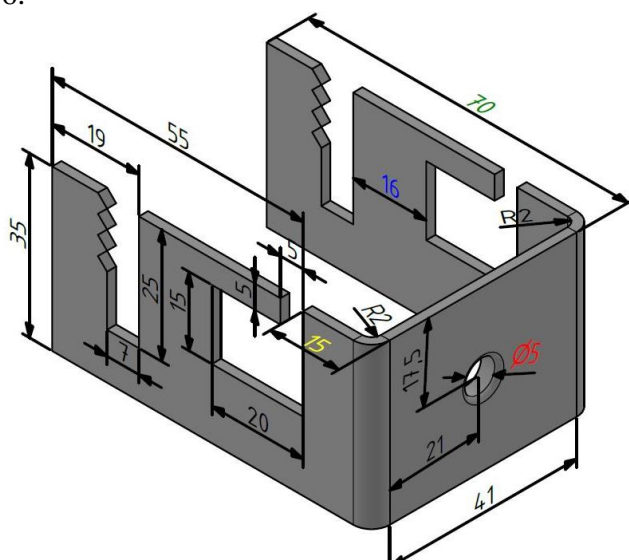
Obr. 35 Minimální vzdálenost otvoru od ohybu [1].

3 NÁVRH VÝROBY

Jak již bylo zmíněno vyráběnou součástí je kabelová přichytka konkrétněji její konzole. Velikost roční výrobní série je 200 000 ks. Pro její výrobu byla zvolena austenitická korozivzdorná ocel X5CrNi18-10 a byla vybrána výroba pomocí postupového sdrúženého nástroje.

Jelikož je potřeba ověřit, jestli je součást vyrobitelná vybranými technologiemi, tak se nejdříve provede posouzení její technologičnosti. Při stříhání se kontrolují tolerované rozměry, které ale na konzoly žádné nejsou, minimální průměr výstřižků nebo minimální vzdálenost mezi otvory:

- Podmínka, že nejmenší otvor má mít průměr větší než 1 mm je splněna, protože na součásti je nejmenší vystřižený otvor o průměru 3,4 mm, který je vystřižen a dále tvarován pomocí průtažníku, jenž vytvoří prolis o konečném průměru 5 mm. Otvor je znázorněn červeně na obr. 36 a po vyhotovení bude do něj dále vyřezán závit M6.
- Podmínka minimální vzdálenosti mezi otvory (obr. 33) je na součásti rovněž splněna. Jelikož tloušťka plechu je 2 mm a nejmenší vzdálenost je 16 mm, která je znázorněna modře na obr. 36.



Obr. 36 Rozměry konzole kabelové přichytky.

Při ohýbání se z hlediska technologičnosti kontroluje minimální délka ohýbaného ramene **b** (obr. 34). Tuto podmínku konzole splňuje, protože nejmenší délka ohýbaného ramene je 70 mm, jenž je znázorněna na obr. 36 zelenou barvou. Poloměr ohybu **R_o** je u obou ohybů 2 mm.

$$b \geq (2,5 \div 3) \cdot s \quad (3.1)$$

$$b \geq 3 \times 2$$

$$70 \geq 6$$

Dále se kontroluje minimální vzdálenost otvoru od ohybu (obr. 35). Podmínka je rovněž splněna, protože nejmenší vzdálenost otvoru od ohybu je 15 mm. Vzdálenost je znázorněna žlutě na obr. 36.

$$a \geq R_o + 2 \cdot s \quad (3.2)$$

$$a \geq 2 + 2 \cdot 2$$

$$15 \geq 6$$

Je třeba zkontrolovat také minimální a maximální poloměr ohybu. Minimální poloměr je kontrolován dle vztahu 2.8 a maximální dle vztahu 2.9. Při výpočtu minimálního byla použita horní velikost součinitele C i meze kluzu materiálu.

$$R_{min} = C \cdot s = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ mm}$$

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{2}{2} \cdot \left(\frac{210\,000}{230} - 1 \right) = 912 \text{ mm}$$

Poloměr ohybu u obou ohybů je 2 mm, jak již bylo zmíněno. Tudíž součást splňuje všechny zásady. A dle technologičnosti konstrukce vyhovuje.

3.1 Rozvinutý tvar

Jak bylo zmíněno na součásti se nachází dva ohyby. Je tedy nutné pro návrh výrobního postupu stanovit rozměry rozvinutého tvaru součásti. Postup určování je následující:

- Nejdříve se stanoví poloměr neutrální vrstvy ze vztahu 2.5. Jelikož hodnota R_0 je stejná s tloušťkou materiálu, tak byla vybrána hodnota pro součinitel posunu neutrální vrstvy z tab. 3 odpovídající jejich podílu,

$$\rho = R_0 + x \cdot s = 2 + 0,41 \cdot 2 = 2,82 \text{ mm}$$

- dále se vypočte délka ohýbaných úseků pomocí vztahu 2.6. Jelikož úhel ohybu je u obou ohybů 90° , tak stačí jen jeden výpočet,

$$l_o = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 2,82 = 4,43 \text{ mm}$$

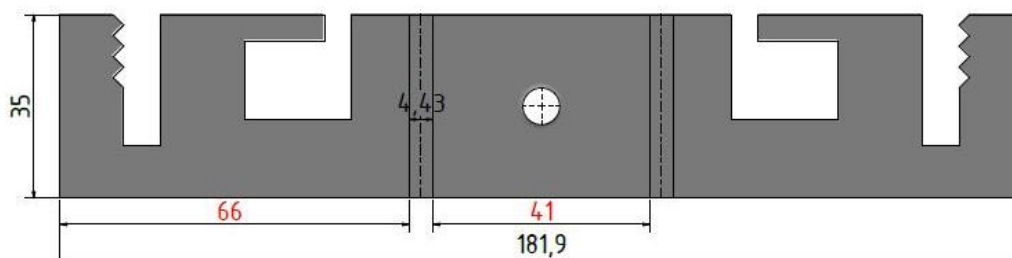
- celková délka rozvinutého tvaru l_c je dána součtem ohýbaných úseků a rovných úseků, které jsou znázorněny na obr. 37 červeně.

$$l_c = \sum_{i=1}^n l_{oi} + \sum_{j=1}^m l_{rj} \quad (3.3)$$

kde: l_r - délka rovného úseku [mm]

$$l_c = \sum_{i=1}^n l_{oi} + \sum_{j=1}^m l_{rj} = 2 \cdot l_o + 2 \cdot l_{r1} + l_{r2} = 2 \cdot 4,43 + 2 \cdot 66 + 41 = 181,86 \text{ mm}$$

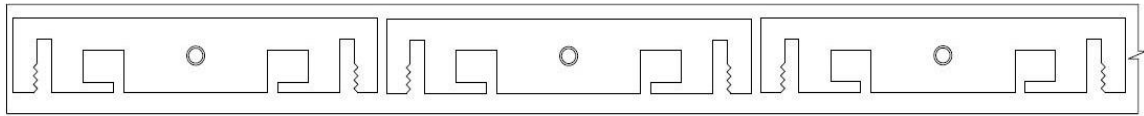
Vzhledem k přesnosti součásti byla celková délka rozvinutého tvaru zaokrouhlena na 181,9 mm. Rozměry součásti tedy jsou 181,9 x 35 mm. Na obr. 37 je znázorněn její rozvinutý tvar spolu s rozměry.



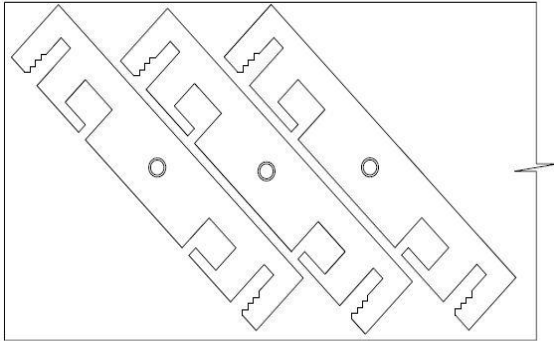
Obr. 37 Rozvinutý tvar.

3.2 Rozmístění výstřižků

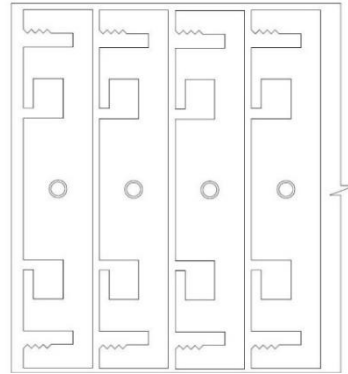
Při tvaru součásti jsou brány do úvahy následující tři možnosti jejího rozmístění. Na obr. 38 je vidět její podélné umístění. Při jeho použití by ale byla velká vzdálenost mezi kroky a tím pádem by bylo třeba použít větší nástroj se složitější konstrukcí. Podobné nevýhody jako má i šikmé rozmístění, které je vidět na obr. 39. Bylo by zde potřeba menšího nástroje, ale nástroj by měl též složitější konstrukci.



Obr. 38 Podélné rozmístění.



Obr. 39 Šikmé rozmístění.



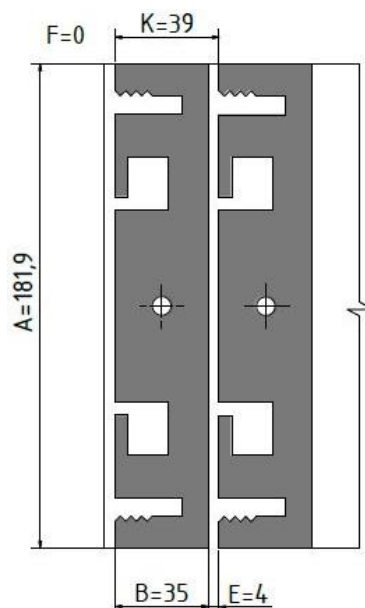
Obr. 40 Příčné rozmístění.

Další a poslední uvažovanou možností je její příčné rozmístění (obr. 40), které se jeví jako nejlepší, protože nebude potřeba tak velký nástroj a jeho konstrukce bude jednodušší. Do úvahy je zde brána i jedna nevýhoda. Pravděpodobně budou osy ohybů rovnoběžné se směrem válcování a tím pádem mohou vzniknout trhliny na vnějších stranách ohybu. Jelikož je uvažovaný poloměr ohybu R_0 větší než minimální poloměr ohybu, tak trhliny by vzniknout neměly, tudíž je tato možnost vybrána.

3.3 Volba polotovaru

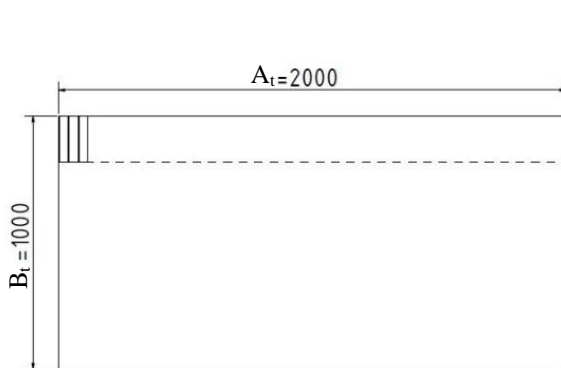
Pro vhodnou volbu polotovaru plechu o tloušťce 2 mm je nejdříve třeba stanovit velikost postranního odpadu a můstku. Velikost můstku byla stanovena podle přílohy č. 3, kde by můstek měl být 4 mm. Postranní odpad byl z důvodu přesnosti součásti a jejího použití vynechán, tudíž šířka pásu je stejná jako šířka součásti a krok (obr. 41) se vypočítá pomocí vztahu 2.4.

$$K = 35 + 4 = 39 \text{ mm}$$

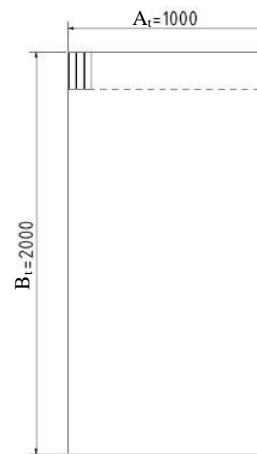


Obr. 41 Krok a postranní odpad.

Jako polotovár lze použít buď tabule plechu, které se dále dělí na pásy nebo lze použít svitky plechu o přesné šířce. Tabule se nabízí běžně o rozměrech 1 x 2 m, 1,25 x 2,5 m nebo 1,5 x 3 m. Na pásy se dají dělit buď podélně (obr. 42) nebo příčně (obr. 43).



Obr. 42 Podélné dělení tabule.



Obr. 43 Příčné dělení tabule.

Nejvhodnější tabule plechu se zjistí pomocí výpočtů o jejím využití. Níže uvedené výpočty jsou pro tabuli plechu dělenou podélně o rozměrech 2 x 1000 x 2000 mm. Jelikož je třeba znát počet celých pásů, výstřížků nebo tabulí, tak se volí, když vyjde desetinné číslo, celé číslo nejbližší nižší, ale u počtu tabulí nejbližší vyšší. Využitelnost se tedy zjistí následně:

- Počet celých pásů z jedné tabule n_p :

$$n_p = \frac{B_t}{A} = \frac{1000}{181,9} = 5,49 \rightarrow 5 \text{ ks} \quad (3.4)$$

kde: B_t - šířka tabule [mm]
 A - šířka výstřížku [mm]

- Počet celých výstřížků z pásu n_v :

$$n_v = \frac{A_t}{K} = \frac{2000}{39} = 51,28 \rightarrow 51 \text{ ks} \quad (3.5)$$

kde: A_t - délka tabule [mm]

- Počet výstřížků z jedné tabule n_{vt} :

$$n_{vt} = n_p \cdot n_v = 5 \cdot 51 = 255 \text{ ks} \quad (3.6)$$

- Počet tabulí pro sérii 200 000 ks n_t :

$$n_t = \frac{200\,000}{n_{vt}} = \frac{200\,000}{255} = 784,3 \rightarrow 785 \text{ ks} \quad (3.7)$$

- Pro využití tabule plechu dle vztahu 2.3 je zapotřebí stanovit plochu výstřížku a tabule. Vnitřní otvory na konzoli jsou nezbytné pro konstrukci. Plocha výstřížku se tedy stanoví dle:

$$S_v = A \cdot B = 181,9 \cdot 35 = 6\,366,5 \text{ mm}^2 \quad (3.8)$$

- Velikost plochy tabule se vypočítá dle:

$$S_t = A_t \cdot B_t = 2000 \cdot 1000 = 2\,000\,000 \text{ mm}^2 = 2 \text{ m}^2 \quad (3.9)$$

$$\eta_t = \frac{n_{vt} \cdot S_v}{S_t} \cdot 100 = \frac{255 \cdot 6\,336,5}{2\,000\,000} = 81,2 \%$$

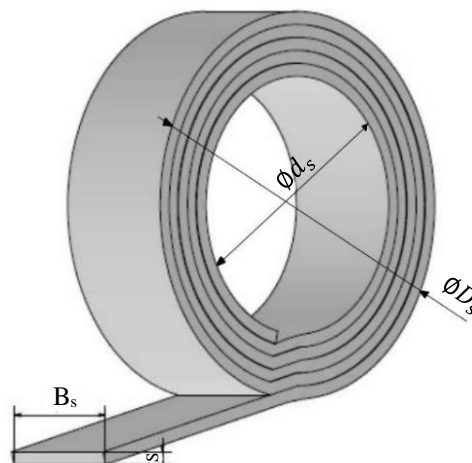
Jelikož pro 200 000 ks výstřížků jsou zapotřebí stovky tabulí plechu, tak využití všech tabulí je téměř stejné jako využití pouze jedné. Využitelnosti se liší ojedinele v setinách procenta. Proto s nimi ani není počítáno.

Tab. 4 Využitelnost tabulí plechu.

Rozměry tabule	[m]	1 x 2		1,25 x 2,5		1,5 x 3	
		podélné	příčné	podélné	příčné	podélné	příčné
Dělení tabule							
Počet pásů z tabule	[ks]	5	10	6	13	8	16
Počet výstřížků z pásu	[ks]	51	25	64	32	76	38
Počet výstřížků z tabule	[ks]	255	250	384	416	608	608
Počet tabulí pro sérii	[ks]	785	800	521	481	329	329
Plocha tabule	[m ²]	2	2	3,125	3,125	4,5	4,5
Využití tabule plechu	[%]	81,2	79,6	78,2	84,7	86	86

Jako nejvhodnější tabule plechu vychází z tab. 4 tabule o rozměru 1,5 x 3 m. Podélné i příčné dělení u ní vychází stejně, ale jelikož bylo vybráno příčné rozmístění výstřížků, tak z důvodu směru os ohybů a směru válcování by bylo vhodnější použití příčného dělení. To má ale za nevýhodu větší manipulační práci pro obslužný personál.

Dále se jako polotovár dá použít svitek plechu (obr. 44). U něj je výhodou snížení manipulačních časů, jelikož je svitek automaticky odvíjen. Poté je i rovnán a dále podáván do lisu. Je jich mnoho druhů a liší se hlavně ve velikosti vnitřních průměrů d_s a vnějších průměrů D_s . Do výpočtů byl vybrán svitek o tloušťce 2 mm přesně nařezán na šířku 181,9 mm s vnitřním průměrem 610 mm. Nejvhodnější velikost vnějšího průměru uvažovaného od 1000 do 2200 mm se stanoví dle využitelnosti. Následující postup výpočtů je pro svitek o vnějším průměru 1000 mm:



Obr. 44 Svitek plechu.

- Hmotnost svitku m_s :

$$m_s = \frac{D_s^2 - d_s^2}{4} \cdot \pi \cdot B_s \cdot \rho_o \quad (3.10)$$

kde: B_s - šířka svitku [mm]
 ρ_o - hustota nerezové oceli ($\rho_o = 7\,900$) [$kg \cdot m^{-3}$]

$$m_s = \frac{1000^2 - 610^2}{4} \cdot \pi \cdot 181,9 \cdot 7,9 \cdot 10^{-6} = 708,66 \text{ kg}$$

- Délka rozvinutého svitku l_s :

$$l_s = \frac{m_s}{\rho_o \cdot s \cdot B_s} = \frac{708,66}{7,9 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 181,9} = 246\,575,75 \text{ mm} \quad (3.11)$$

- Počet celých výstřížků ze svitku n_{vs} :

$$n_{vs} = \frac{l_s}{K} = \frac{246\,575,75}{39} = 6\,322,45 \rightarrow 6322 \text{ ks} \quad (3.12)$$

- Počet svitků pro sérii 200 000 ks n_{ts} :

$$n_{ts} = \frac{200\,000}{n_{vs}} = \frac{200\,000}{6322} = 31,64 \rightarrow 32 \text{ ks} \quad (3.13)$$

- Využitelnost jednoho svitku η_s :

$$\eta_s = \frac{n_{vs} \cdot S_v}{B_s \cdot l_s} \cdot 100 = \frac{6322 \cdot 6366,5}{181,9 \cdot 246\,575,75} = 89,74 \% \quad (3.14)$$

- Využitelnost všech svitků η_{vs} :

$$\eta_{vs} = \frac{200\,000 \cdot S_v}{n_{ts} \cdot B_s \cdot l_s} \cdot 100 = \frac{200\,000 \cdot 6\,366,5}{32 \cdot 181,9 \cdot 246\,575,75} = 88,71 \% \quad (3.15)$$

Tab. 5 Využitelnost svitků plechu.

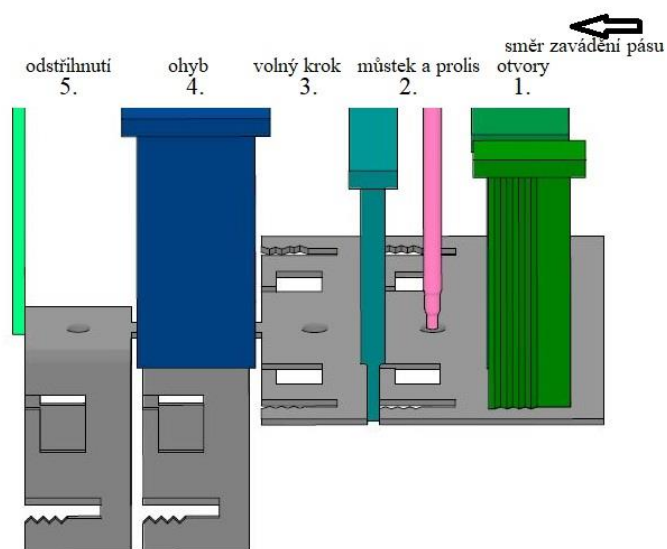
Vnější průměr svitku	[mm]	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Hmotnost svitku	[kg]	708	1205	1792	2469	3237	4095	5043
Délka rozvinutého tvaru	[m]	247	419	624	859	1 126	1 425	1 755
Počet výstřížků ze svitku	[ks]	6 322	10 752	15 988	22 030	28 877	36 530	44 988
Počet svitků pro sérii	[ks]	32	19	13	10	7	6	5
Využitelnost všech svitků	[%]	88,71	87,85	86,35	81,15	88,79	81,89	79,79

U svitků se stejně jako u tabulí volí počty celých výstřížků a celých svitků plechu. Proto jsou u nich čísla volena na nejbližší nižší a nejbližší vyšší celé číslo. Využitelnost jednoho svitku vyšla u řešených rozměrů velikostí vnějších průměrů skoro stejně. Liší se jen v setinách procent, proto ani nejsou v předcházející tab. 5 uvedeny.

Nejvhodnějším rozměrem svitku plechu dle tab. 5 se jeví svitek o vnějším průměru 1800 mm. Jeho využitelnost je také větší než při použití tabule plechu o rozměrech 1500 x 3000 mm. Předpokládá se, že podnik je vybaven výrobní linkou, která se skládá hlavně z odvíječe, rovnačky a podavače a je pro svitky potřebná. Tudíž jako polotovár byl vybrán svitek plechu o vnitřním průměru 610 mm a vnějším průměru 1800 mm.

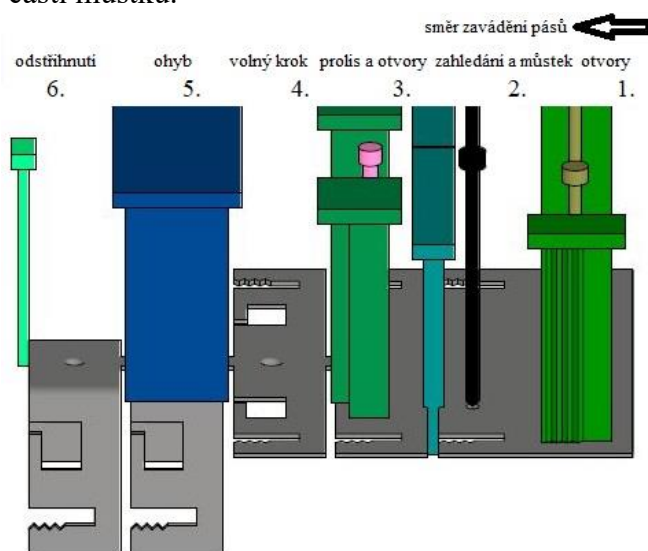
3.4 Výrobní postup

Jelikož je znám polotovár, ze které se bude součást vyrábět, tak nyní je třeba stanovit, jak se součást bude vyrábět. Byly stanoveny dvě varianty postupu. V první je postup stanoven na 5 kroků, které jsou vidět na obr. 45. Stříhací operace jsou zde znázorněny odstíny zelené barvy, ohýbací operace je znázorněna modrou barvou a vytvoření prolisu průtažníkem je znázorněno barvou růžovou.



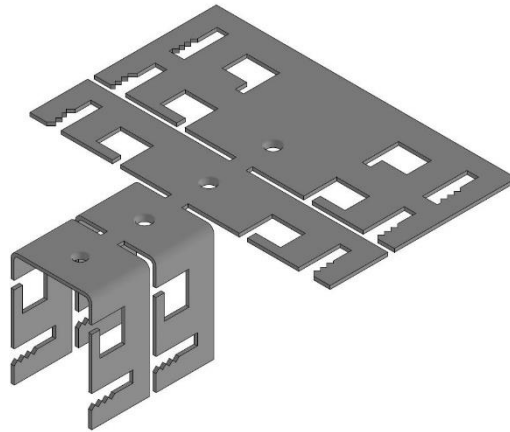
Obr. 45 Výrobní postup 1. varianty.

V prvním kroku se vystříhají dva otvory připomínající písmeno L a dva otvory podobné písmenu I s drážkováním. V dalším kroku se vytvoří prolis pomocí průtažníku a pomocí dvou stejných střížníků je odstrížena velká část můstku. Třetí krok je volný z důvodu omezujícího uchycení střížníků a ohybníku. Ve čtvrtém kroku je proveden ohyb a pátý krok slouží k odstrizení zbývající části můstku.



Obr. 46 Výrobní postup 2. varianty

Druhá varianta výroby je znázorněna na obr. 46, kde je postup stanoven na 6 kroků. Rozdíl druhé varianty oproti první je v provedení zahledání, které slouží pro přesné ustavení polotovaru. Pro zahledání jsou v prvním kroku vystřiženy dva kruhové otvory a následně je na ně v druhém kroku zahledáno. Vzhledem k přesnosti součásti a složitější konstrukci druhé varianty byla vybrána varianta první. Na obr. 47 je znázorněn 3D model vybraného postupu výroby.



Obr. 47 3D model výrobního postupu.

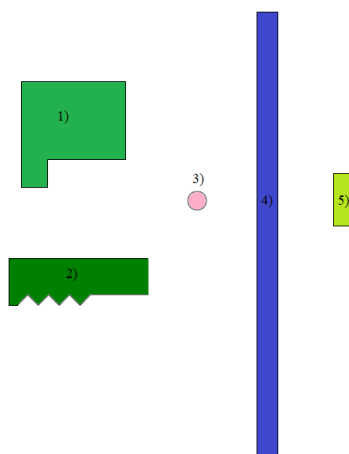
3.5 Síla a práce

Stanovení síly a práce je důležité pro následující volbu stroje a pro umístění stopky. Výpočty budou rozděleny dle operací na stříhání a ohýbání. Poté se jednotlivé složky sečtou a vznikne potřebná síla a práce

Pro stanovení střížné síly se nejdříve vypočte velikost pevnosti ve stříhu dle vzorce 2.2. Teprve poté se určí střížná síla dle vztahu 2.12 pro jednotlivé střížníky a následně se určí celková síla. Mez pevnosti materiálu v tahu je volena z tab. 1 jako největší hodnota jejího rozmezí a součinitel otupení volen rovněž jako největší hodnota jeho rozmezí:

- Velikost meze pevnosti materiálu ve stříhu:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 750 = 600 \text{ MPa}$$



Obr. 48 Tvar střížníků.

Střížníky označené na obr. 48 jako 1), 2) a 4) byly zvětšeny o 2 mm a střížník označený jako 5) byl zvětšen o 1,1 mm z důvodu přesazení jejich stříhů. Bude tedy počítáno s jejich zvětšenými rozměry. Tudíž výsledná střížná síla, která vyjde bude o něco větší než reálná síla.

- Střížná síla pro střížník označený na obr. 48 jako 1):

$$F_{s1} = l_1 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = (22 + 20 + 7 + 5 + 15 + 15) \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 600 = 131\,040\,N$$

- Střížná síla pro střížník označený na obr. 48 jako 2) u kterého byla velikost střížných hran určena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2022:

$$F_{s2} = l_2 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = 75,8 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 600 = 118\,248\,N$$

- Střížná síla pro průtažník označený na obr. 48 jako 3):

$$F_{s3} = l_3 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = (\pi \cdot 3,4) \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 600 = 16\,663\,N$$

- Střížná síla pro střížník označený na obr. 48 jako 4):

$$F_{s4} = l_4 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = (88 + 88 + 4 + 4) \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 600 = 287\,040\,N$$

- Střížná síla pro střížník označený na obr. 48 jako 5):

$$F_{s5} = l_5 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = (11 + 11 + 4 + 4) \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 600 = 46\,800\,N$$

- Celková střížná síla F_s se stanoví jako součet dílčích střížných sil:

$$F_s = 2 \cdot F_{s1} + 2 \cdot F_{s2} + F_{s3} + 2 \cdot F_{s4} + F_{s5} \quad (3.16)$$

$$F_s = 2 \cdot 131\,040 + 2 \cdot 118\,248 + 16\,663 + 2 \cdot 287\,040 + 46\,800 = 1\,136\,119\,N$$

Součinitel plnosti pro výpočet střížné práce zvolen z grafu na obr. 22. Jeho hodnota stanovena na 0,42. Střížná práce se vypočítá ze vztahu 2.13:

$$A_s = F_{smax} \cdot s \cdot \lambda = 1\,136\,119 \cdot \frac{2}{1000} \cdot 0,42 = 954\,J$$

Ohybová síla se stanoví dle vzorce 2.14. Pro výpočet zvolena hodnota koeficientu tření 0,15 a horní hranice meze kluzu. Síla je tedy:

$$F_o = (1 + 7 \cdot \mu) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{R_0 + s} = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{35 \cdot 2^2 \cdot 230}{2 + 2} = 16\,502,5\,N$$

Kruhový otvor je prolisovaný otvor. Je tedy nutné ještě stanovit lemovací sílu F_l pro vytvoření prolisu, která se vypočte dle [30]:

$$F_l = 1,1 \cdot s \cdot R_m \cdot (D - d) \quad (3.17)$$

kde: D - průměr otvoru před prolisováním [mm]

d - průměr otvoru po prolisování [mm]

$$F_l = 1,1 \cdot 2 \cdot 750 \cdot (5 - 3,4) = 2\,640\,N$$

Protože lemovací síla nepůsobí ve stejný okamžik jako střížná síla, a ještě je její hodnota menší, tak se s ní dále nebude počítat.

Pro určení ohybové práce je zapotřebí zvolit součinitel plnosti diagramu. Jeho hodnota zvolena na 0,6. Výpočet dle vztahu 2.15 tedy je:

$$A_o = F_o \cdot h \cdot \psi = 16\,502,5 \cdot \frac{20}{1000} \cdot 0,6 = 198\,J$$

Celková potřebná síla je tedy dána součtem střížné a ohybové síly dle vztahu 2.10. A celková práce je dána rovněž součtem střížné a ohybové práce dle vzorce 2.11. Jejich výpočty jsou tedy následující:

$$F_c = 1\,136\,119 + 16\,502,5 = 1\,152\,621,5\,N$$

$$A_c = 954 + 198 = 1\,152\,J$$

3.5.1 Těžiště sil

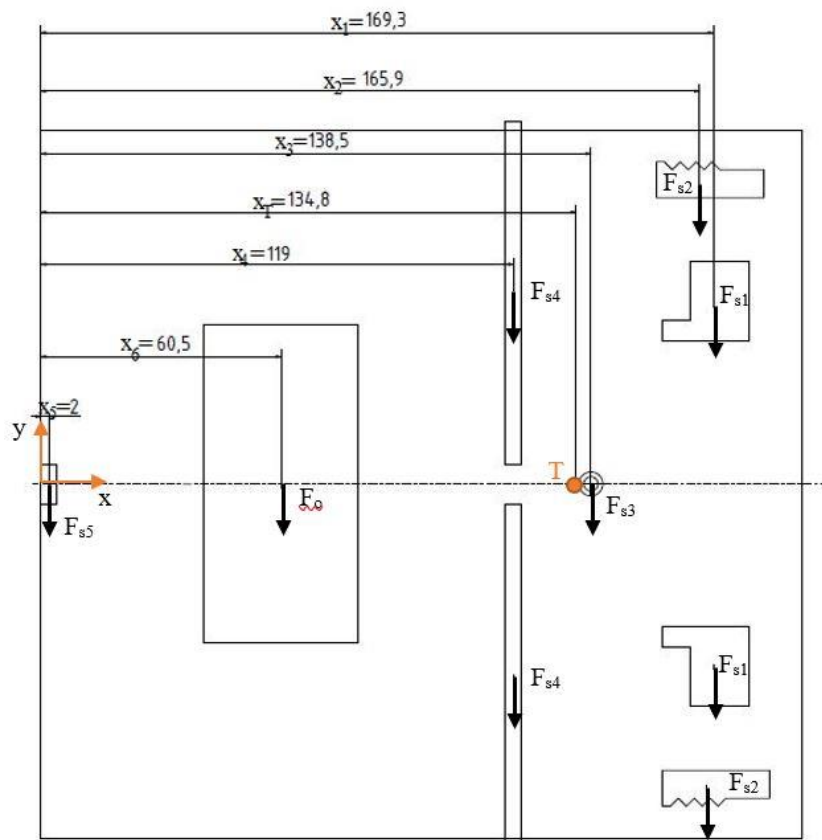
Pro stanovení umístění stopky, za kterou se nástroj upíná do beranu lisu, je důležité vědět, kde se nachází těžiště sil. Stopka by měla být umístěna tak, aby jí výslednice sil procházela. Zobrazení působí sil je na obr. 49, kde jsou také vyznačeny vzdálenosti od zvoleného souřadnicového středu. Jelikož je součást symetrická podle osy x, tak zde odpadá zjišťování ypsilonové složky těžiště. Ke zjištění těžišť dvou složitějších tvarů byl využit Autodesk Inventor Professional 2022. Těžiště sil v ose x bude zjištěno pomocí početní metody [31]:

$$x_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i} \quad (3.18)$$

kde: x_T - souřadnice těžiště na ose x [mm]
 x_i - souřadnice působících sil na ose x [mm]

$$x_T = \frac{2 \cdot F_{s1} \cdot x_1 + 2 \cdot F_{s2} \cdot x_2 + F_{s3} \cdot x_3 + 2 \cdot F_{s4} \cdot x_4 + F_{s5} \cdot x_5 + F_o \cdot x_6}{2 \cdot F_{s1} + 2 \cdot F_{s2} + F_{s3} + 2 \cdot F_{s4} + F_{s5} + F_o}$$

$$x_T = \frac{2 \cdot 131\,040 \cdot 169,3 + 2 \cdot 118\,248 \cdot 165,9 + 16\,663 \cdot 138,5 + 2 \cdot 287\,040 \cdot 119 + 46\,800 \cdot 2 + 16\,502,5 \cdot 60,5}{2 \cdot 131\,040 + 2 \cdot 118\,248 + 16\,663 + 2 \cdot 287\,040 + 46\,800 + 16\,502,5} = 134,75 \text{ mm}$$



Obr. 49 Těžiště sil.

Hodnota zaokrouhlena na 134,8 mm. Těžiště sil je tedy vzdálené od kraje plechu v ose x touto hodnotou a v ose y je po zaokrouhlení vzdálené 91 mm. V tomto místě bude tedy umístěna stopka.

3.5.2 Další konstrukční výpočty

Zde jsou uvedeny další výpočty pro konstrukci nástroje. Také jsou zde kontrolní výpočty, protože některé funkční části nástroje je třeba zkontrolovat, jestli navrhované rozměry vyhovují. V případě nevyhovujících výpočtů by bylo nutné upravit nástroj:

- Velikost střížné mezery a vůle dle vztahu 2.1:

$$z = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,01 \cdot 2 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{600} = 0,157 \text{ mm}$$

Hodnota střížné mezery byla zaokrouhlena na 0,16 mm, tudíž střížná vůle je:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,16 = 0,32 \text{ mm}$$

- Pro odpružení dle vztahu 2.7 za l_u dosazen součet poloměrů ohybníku a ohybnice a velikost ohýbací mezery, jež je uvažována jako 115 % tloušťky plechu:

$$\beta = \arctg 0,75 \cdot \frac{2 + 2 + 1,15 \cdot 2}{(1 - 0,41) \cdot 2} \cdot \frac{230}{210\,000} = 0,25^\circ$$

Vzhledem k velikosti odpružení není třeba konstrukčních úprav pro jeho eliminaci.

- Kontrola střížníku na otlacení se provádí z důvodu předcházení jejich vtlačování do upínací desky. Jelikož upínací deska bude z oceli 11 500, tak pro tuto ocel bylo zjištěno z její meze kluzu dovolené napětí, které je $\sigma_{dov} = 160 \div 170 \text{ MPa}$. [31]

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_{hs}} \quad (3.19)$$

kde: σ_s - napětí na dosedací ploše [MPa]
 S_{hs} - plocha dosedací hlavy střížníku [mm²]

$$\sigma_{s3} = \frac{F_{s3}}{\pi \cdot r_{hs}^2} = \frac{16\,663}{\pi \cdot 4,5^2} = 261,9 \text{ MPa}$$

Velikost napětí na dosedací ploše byla zkontrolována na nejmenším střížníku. Nejmenší střížník je zde průtažník a velikost jeho napětí na dosedací ploše je větší než dovolené napětí, tudíž je zapotřebí použít mezi dosedacími hlavami a upínací deskou opěrnou kalenou desku.

- Kontrola výšky střížnice H [31]:

$$H = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_s} \quad (3.20)$$

$$H = \sqrt[3]{0,1 \cdot (F_s - F_5)} = \sqrt[3]{0,1 \cdot (1\,095\,247 - 46\,800)} = 47,2 \text{ mm}$$

Zde je zkontrolována minimální výška střížnici. Jelikož střížná síla F_{s5} nepůsobí na střížnici, tak její hodnota byla odečtena. Výška střížnice je 50 mm, tím pádem její výška je vyhovující.

- Kontrola na vzpěr se provádí z důvodu předejití vybočení střížníků. Pomocí výpočtu vyjde kritická délka, která nesmí být větší než délka navrhovaná. [31]

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu^k \cdot F_{sXX}}} \quad (3.21)$$

kde: l_{krit} - kritická délka [mm]
 μ^k - součinitel bezpečnosti ($\mu^k = 1,5$ až 2) [-]
 I - kvadratický moment setrvačnosti průřezu [mm⁴]

Kontrola střížníku na vzpěr bude provedena pro nejmenší střížník, což je průtažník. Jeho průměr volen 6 mm a součinitel bezpečnosti volen 2. Dále bude provedena i kontrola pátého střížníku, jelikož jako jediný není veden pomocí vodící desky (vztah upraven):

- Moment setrvačnosti a kritická délka pro kruhový průřez průtažníku:

$$I_o = \frac{\pi \cdot d_v^4}{64} = \frac{\pi \cdot 6^4}{64} = 63,62 \text{ mm}^4 \quad (3.22)$$

kde: d_v - průměr průtažníku [mm]

$$l_{krit_o} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu^k \cdot F_{S5}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 63,62}{2 \cdot 16\,663}} = 125,8 \text{ mm}$$

- Moment setrvačnosti a kritická délka pro obdélníkový průřez 5. střížníku:

$$I_{obd} = \frac{b_v \cdot h_v^3}{12} = \frac{4 \cdot 11^3}{12} = 443,67 \text{ mm}^4 \quad (3.23)$$

kde: b_v - šířka průřezu střížníku [mm]
 h_v - délka průřezu střížníku [mm]

$$l_{krit_{obd}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu^k \cdot F_{S5}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 443,67}{2 \cdot 46\,800}} = 140,2 \text{ mm}$$

Průtažník na vzpěr vyhovuje, protože jeho volná délka mezi kotevní a vodící deskou je 40 mm. Volná délka pátého střížníku je 67 mm. Proto z hlediska kontroly vyhovuje také.

3.6 Volba stroje

Nejdůležitější faktorem při volbě stroje je jeho tvářecí síla, která musí být větší než vypočtená síla k tváření F_c . Dále se při výběru uvažuje sevření, zdvih a velikost upínací plochy stroje. S ohledem na velikost síly a dalších parametrů byl vybrán výstředníkový lis S 160 E od firmy Šmeral Brno a.s., který je znázorněn na obr. 50. A základní technická data jsou uvedeny v tabulce 6.



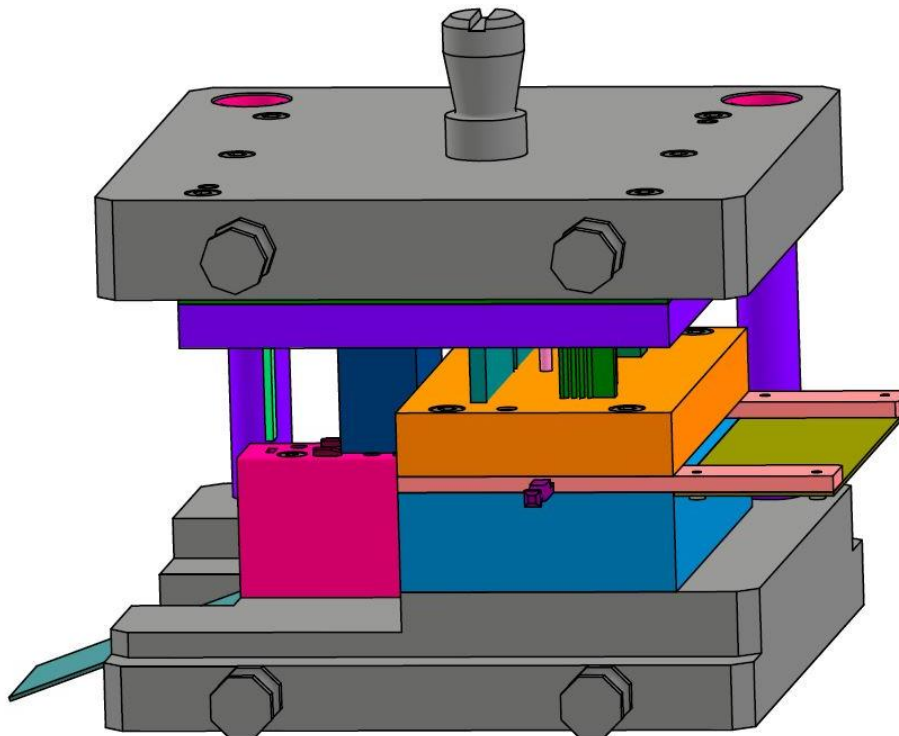
Obr. 50 Výstředníkový lis S 160 E [43].

Tab. 6 Základní technická data lisu S 160 E [43].

Tvářecí síla	[kN]	1600	Zdvih beranu	[mm]	20-160
Sevření	[mm]	500	Počet zdvihů	[min ⁻¹]	60
Vyložení	[mm]	400	Přestavování beranu	[mm]	100
Upínací plocha stolu	[mm]	1200x800	Celkový instalovaný výkon	[kW]	15
Upínací plocha beranu	[mm]	860x520	Rozměry stroje v·š·h	[m]	3,3·1,2·2,3

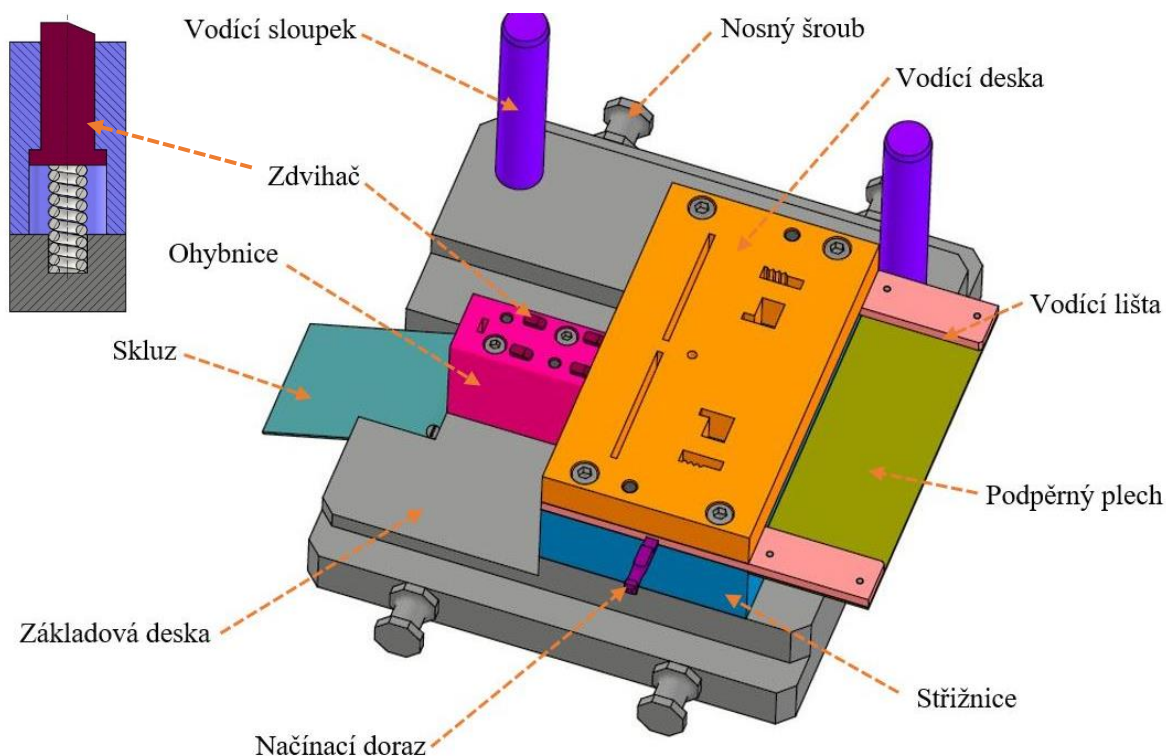
3.7 Popis nástroje

Pro výrobu konzole kabelové příchytky byl navrhnout postupový sružený nástroj, viz obr. 51, který vyrobí součást v pěti krocích. Při jeho konstrukci byly použity jednak normalizované díly ale i díly pro něj vyrobené. Zvolený polotovár, kterým je svitek plechu, je pomocí podávacího zařízení podáván mezi vodící lišty.



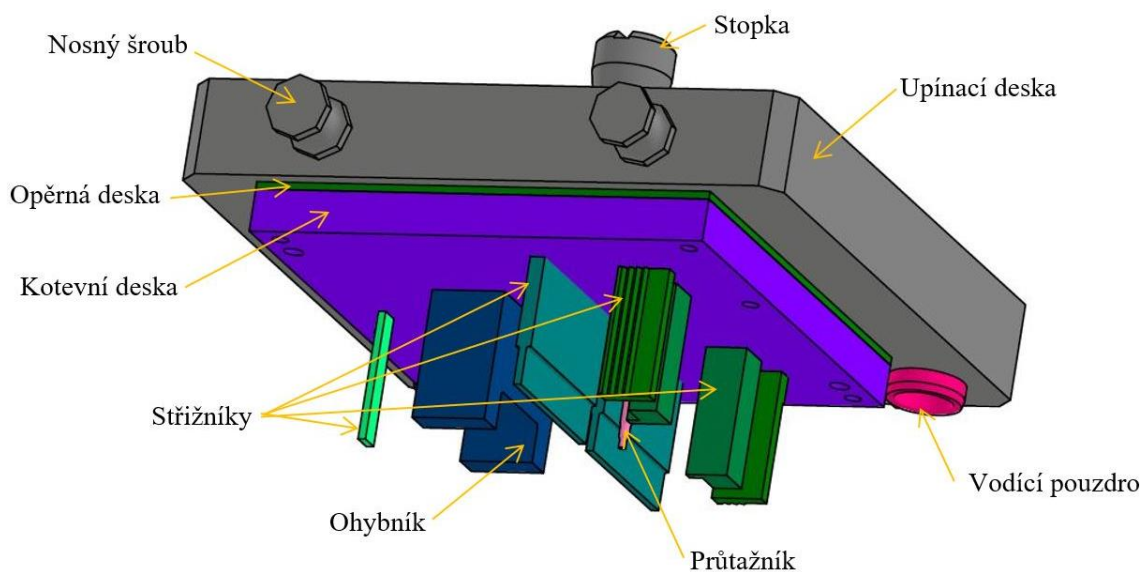
Obr. 51 Postupový sružený nástroj.

Spodní část nástroje, viz obr. 52 se skládá ze základové desky ke které jsou hlavně spojeny funkční části nástroje, tedy střižnice a ohybnice. Ke střižnici jsou po obou stranách připevněny vodící lišty, ke kterým je připevněn podpěrný plech čtyřmi šrouby M5x10. V jedné vodící liště je nařinací doraz pro první ustavení nového pásu svitku plechu. Na vodící lišty dosedá deska vodící a všechny tyto části jsou spojeny pomocí čtyř šroubů M10x120 a dvou kolíků Ø10x140. Jelikož je na součásti vytvořen prolis, tak je potřebné pás při posouvání o kroky zdvihát. To je provedeno pomocí pružných zdvihačů, kde jsou čtyři umístěny ve střižnici a čtyři zdvihače jsou v ohybnici. Ohybnice je k základové desce připojena dvěma šrouby M8x100 a dvěma kolíky Ø8x100. K základové desce je rovněž připevněn dvěma šrouby M5x10 skluzný plech sloužící k odvedení již hotových součástí po odřezání zbytků můstků. Do základové desky jsou také zalisovány dva vodící sloupky. A pro manipulaci jsou v ní také umístěny čtyři nosné šrouby.



Obr. 52 Spodní část nástroje.

Horní část nástroje, viz obr. 53 je složena celkem ze sedmi střížníků, jednoho průtažníku a jednoho ohybníku, které jsou upnuty pomocí osazení kotevní deskou. Na kotevní desku dosedá deska opěrná, jejíž nutnost byla usouzena z výpočtu kontroly střížníků na otláčení. A na opěrnou desku dosedá deska upínací, ve které je v zjištěném těžišti sil umístěna upínací stopka. Všechny desky jsou spolu spojeny pomocí šesti šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M10x60 a dvou kolíků $\varnothing 10 \times 70$. V upínací desce jsou zalisována dvě vodící pouzdra a pro manipulaci s horní částí nástroje jsou v upínací desce podobně jako v základové umístěny čtyři nosné šrouby.



Obr. 53 Horní část nástroje.

Po vyhotovení tvaru konzole pomocí zmíněného nástroje budou následovat další dvě operace. První operací je omílání, které slouží k odstranění otřepů po stříhání. Druhá operace je výroba závitu, jehož vyhotovením je součást kompletně vyrobena.

4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole bude uvedeno ekonomické zhodnocení, které slouží pro stanovení nákladů na výrobu jedné součásti i celé série. Uvažuje se, že vybraný výstředníkový lis S 160 E a výrobní linka pro podávání polotovaru je součástí podniku, a tudíž jejich náklady nejsou započteny do ceny součástí. Náklady je možné rozdělit na:

- Náklady na nástroj stanoveny odhadem z cen podobných nástrojů na $N_n = 200\,000$ Kč.
- Náklady na materiál polotovaru:

- Cena potřebných svitků plechu C_s od dodavatele ITALINOX s.r.o.:

$$C_s = n_{ts} \cdot m_s \cdot C_{s/kg} \quad (4.1)$$

kde: $C_{s/kg}$ - cena za 1 kg oceli [Kč]

$$C_s = 7 \cdot 3\,216 \cdot 134,5 = 3\,027\,864 \text{ Kč}$$

- Hmotnost konzole m_k :

$$m_k = S_{vo} \cdot s \cdot \rho_o \quad (4.2)$$

kde: S_{vo} - plocha výstřižků bez nezbytného odpadu [mm^2]

$$m_k = 5\,330 \cdot 2 \cdot 7900 = 0,084 \text{ kg}$$

- Hmotnost konzolí pro sérii 200 000 ks m_{ks} :

$$m_{ks} = m_k \cdot 200\,000 = 0,084 \cdot 200\,000 = 16\,800 \text{ kg} \quad (4.3)$$

- Hmotnost odpadu m_o :

$$m_o = m_s \cdot n_{ts} - m_{ks} = 3\,216 \cdot 7 - 16\,800 = 5\,712 \text{ kg} \quad (4.4)$$

- Cena za odpad C_o :

$$C_o = m_o \cdot C_{o/kg} \quad (4.5)$$

kde: $C_{o/kg}$ - cena za 1 kg odpadu (dle [44] $C_{o/kg} = 55$) [Kč]

$$C_o = 5\,712 \cdot 55 = 314\,160 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál N_m jsou tedy:

$$N_m = C_s - C_o = 3\,027\,864 - 314\,160 = 2\,713\,704 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

- Náklady na mzdy se stanoví z denní pracovní doba, která je $t_p = 8$ hodin a z toho je odečtena 1 hodina na údržbu a seřízení stroje. Čistý pracovní čas směny je tedy $t_s = 7$ hodin. Počet zdvihů stroje byl převzat z tab. 6, kde $n_z = 60 \text{ min}^{-1}$.

- Počet součástí za směnu p_{ss} :

$$p_{ss} = (t_s \cdot 60) \cdot n_z = (7 \cdot 60) \cdot 60 = 25\,200 \text{ ks} \quad (4.7)$$

- Počet potřebných směn pro výrobu série n_{ss} :

$$n_{ss} = \frac{200\,000}{p_{ss}} = \frac{200\,000}{25\,200} = 7,93 \text{ směn} \rightarrow 8 \text{ směn} \quad (4.8)$$

Hodinová mzda zaměstnance stanovena na $m_z = 300$ Kč, ve které jsou již obsaženy odvody zaměstnavatele za zaměstnance. Zaměstnavatel za něj odvádí 24,8 % na sociálním a 9 % na zdravotním pojištění.

Náklady na mzdy N_{mz} tedy jsou:

$$N_{mz} = n_{ss} \cdot t_p \cdot m_z = 8 \cdot 8 \cdot 300 = 19\,200 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

▪ Náklady na energie:

– Náklady na energie pro provoz lisu N_{es} :

$$N_{es} = n_{ss} \cdot t_s \cdot P_s \cdot C_{kwh} \quad (4.10)$$

kde: C_{kwh} - cena za 1 kWh (dle [45] $C_{kwh} = 7,15$) [Kč]
 P_s - příkon zvoleného stroje, viz tab. 6 [kW]

$$N_{es} = 8 \cdot 7 \cdot 15 \cdot 7,15 = 6\,006 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

– Do nákladů na energie se také započtou náklady na provoz výrobní linky. Tyto náklady byly odhadnuty na $N_{ev} = 3\,000$ Kč.

Celkové náklady za energie N_{el} tedy jsou:

$$N_{el} = N_{es} + N_{ev} = 6\,006 + 3\,000 = 9\,006 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

▪ Náklady za režii a správu stanoveny z nákladů na mzdy. Režie byla odhadnuta na 300 % a správa na 140 % nákladů mezd.

$$N_{rs} = 3 \cdot N_{mz} + 1,4 \cdot N_{mz} = 3 \cdot 19\,200 + 1,4 \cdot 19\,200 = 84\,480 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

▪ Náklady na omílání pro odstranění otřepů a výrobu závitů stanoveny odhadem na $N_{oz} = 500\,000$ Kč.

▪ Celkové náklady N_c tedy jsou:

$$N_c = N_n + N_m + N_{mz} + N_{el} + N_{rs} + N_{oz} \quad (4.14)$$

$$N_c = 200\,000 + 2\,713\,704 + 19\,200 + 9\,006 + 84\,480 + 500\,000$$

$$N_c = 3\,525\,390 \text{ Kč}$$

Pro určení nákladů na jednu konzoly jsou celkové náklady poděleny počtem kusů. Tržní cena konzole bude navýšena o 42 %:

▪ Náklady na jednu konzoly N_{cj} jsou:

$$N_{cj} = \frac{N_c}{200\,000} = \frac{3\,525\,390}{200\,000} \cong 17,6 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

▪ Tržní cena jedné konzole N_{ctj} je:

$$N_{ctj} = 1,42 \cdot N_{cj} = 1,42 \cdot 17,6 = 25 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

Po dosažení určitého počtu kusů součástí se výroba konzole stává ziskovou. Počet kusů nám udává bod zvratu. Jeho určení se provede pomocí:

▪ Fixních nákladů F_N na výrobu konzole:

$$F_N = N_n + N_{rs} = 200\,000 + 84\,480 = 284\,480 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

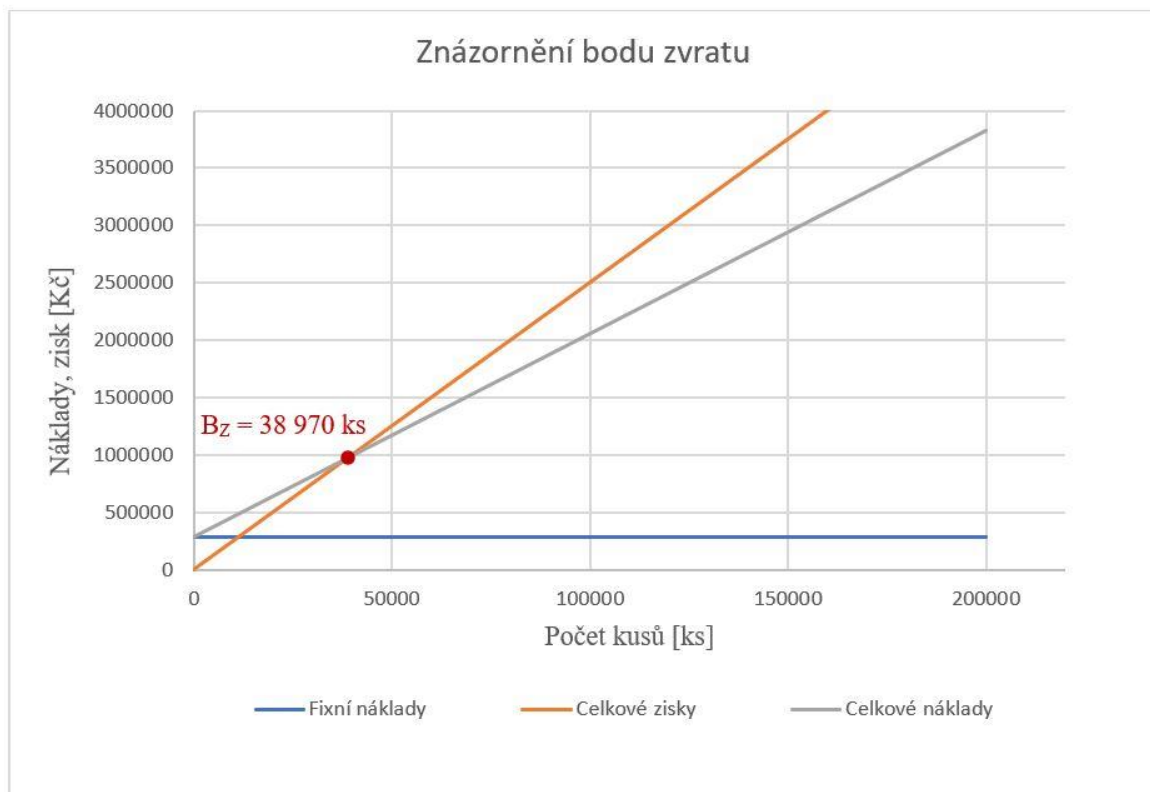
- Variabilních nákladů V_N na výrobu konzole:

$$V_N = N_{Cj} + \frac{N_{mz}}{200\,000} = 17,6 + \frac{19\,200}{200\,000} \cong 17,7 \text{ Kč} \quad (4.18)$$

- Bod zvratu B_Z se tedy stanoví dle:

$$B_Z = \frac{F_N}{N_{CTj} - V_N} = \frac{284\,480}{25 - 17,7} = 38\,970 \text{ ks} \quad (4.19)$$

Bod zvratu byl vypočten na 38 970 ks. Jelikož je roční výrobní série plánována na 200 000 ks, tak z ekonomického hlediska je výroba pomocí zvolené technologie efektivní. Znázornění bodu zvratu je na obr. 54.



Obr. 54 Bod zvratu.

ZÁVĚR

Řešená součást je hlavní komponentou kabelové příchytky, která se používá k upevňování kabelů. Jako vhodný materiál pro její výrobu je zvolena austenitická korozivzdorná ocel X5CrNi18-10. Je vyráběna z plechu o tloušťce 2 mm a roční výrobní série je 200 000 ks. Z porovnání jednotlivých metod výrobních možností součásti je vybrána výroba pomocí postupového sdruženého nástroje, který kombinuje stříhací a ohýbací operace.

Jelikož součást byla ověřena dle technologičnosti stříhání a ohýbání jako vyhovující, tak nebylo potřebné provádět žádné konstrukční změny. Dále bylo provedeno zjištění jejího rozvinutého tvaru. Po kterém bylo stanoveno na základě porovnání možných variant příčné rozmístění součásti na páse. Po porovnání jednotlivých rozměrů tabulí a svitků plechů byl vybrán jako vhodný polotovar svitek plechu o tloušťce 2 mm, šířce 181,9 mm, vnějším průměru 1800 mm a vnitřním 610 mm, který bude podáván pomocí linky zahrnující odvíječ, rovnačku a podavač. Při potřebných 7 ks svitků byla stanovena jejich využitelnost na 88,79 %. Po jeho volbě byl vybrán výrobní postup skládající se z pěti kroků. Pro něj byly provedeny technologické, konstrukční a kontrolní výpočty na základě kterých byl zkonstruován postupový sdružený nástroj. Vhodným strojem byl pro nástroj zvolen výstředníkový lis S 160 E od firmy Šmeral Brno a.s. s jmenovitou tvářecí silou 1 600 kN.

Pomocí ekonomického zhodnocení byly vypočteny náklady na jeden kus konzole kabelové příchytky na 17,6 Kč. Její tržní cena stanovena s marží 42 % na 25 Kč. Bod zvratu byl stanoven na 38 970 ks. Při jeho překročení se výroba stává ziskovou. Před samotnou výrobou by stála za uváženou zkušební série, případně vzhledem k ceně konzole kabelové příchytky zhodnocení výroby při použití jakostní nelegované oceli a jejího žárového pokovení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*, 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
2. DILLINGER, Josef, et al. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Z něm. orig. Fachkunde Metall přeložil Jiří Handlíř. 55. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
3. LENFELD, Petr. *Technologie tváření kovů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Technologie II – tváření kovů. [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
4. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
5. ČADA, Radek. *Technologie I* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2007 [cit. 2022-01-28]. ISBN 978-80-248-1507-7. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TECH1/Technologie-I.pdf>
6. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
7. ELTON. *Závěs pro Q strojek* [online]. [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: <https://www.elton.cz/cz/produkt/zaves-pro-q-strojek-100783/>
8. SVX. *Objímka dvoubodová C* [online]. [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: https://www.svx.cz/objimka-dvoubodova-c-32mm?gclid=EAiaIQobChMI6oH0jeHU9QIV6wyLCh1OwgPtEAQYDyABEgICufD_BwE
9. STREFA. *Kotevní prvek s otvory 12-63/100x100 ZB* [online]. [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: <https://www.strefa.cz/kotevni-prvek-s-otvory-12-63-100x100-zb-p37694/>
10. ALIBABA. *Custom stainless steel bending sheet metal parts* [online]. [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/Custom-stainless-steel-bending-sheet-metal_1600123913958.html
11. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vydání šesté, přepracované a doplněné. Brno: CERM, Akademické nakladatelství. 2019. ISBN 978-80-7623-010-1.
12. 3Q METAL. *Nerez 1.4301* [online]. [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/1.4301/>
13. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9
14. FÜRBAACHER, Ivan, Karel MACEK a Josef STEIDL. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty*. [Sv. 2]. Praha: Dashöfer, 1998-. ISBN 80-86229-02-5.
15. X5CrNi18-10. *European Steel and Alloy Grades / Numbers* [online]. [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=100
16. HK STEEL TRADING. *Tabulky norem* [online]. b.r. [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <http://www.hk-trading.cz/tabulky-norem.php>
17. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2. upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.

18. TRUMPF. *Laserové řezání* [online]. [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/pouziti/laserove-rezani/
19. JONTECH. *Laserové řezání* [online]. [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <http://jontech.cz/cs/technologie-a-sluzby/laserove-rezani/>
20. SCHINKMANN. *Plazmové řezání* [online]. [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/plazma>
21. HONKYS. *Několik slov k plazmovému řezání – pálení plazmou* [online]. [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.honkys-export.cz/nekolik-slov-k-plazmovemu-rezani-neboli-paleni-plazmou-a-15-ag-5/>
22. GUMEX. *Řezání vodním paprskem* [online]. [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/sluzby/profily-a-vyroba-tesneni-75/rezani-vodnim-paprskem-46>
23. SIGMA. *Řezání vodním paprskem* [online]. [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.sigma-vvu.cz/produkty/kooperace/rezani-vodnim-paprskem/>
24. BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971. 543 s
25. BRENAS. *Stříhadla* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://brenas.estranky.cz/fotoalbum/lisovaci-nastroje/strihadla/posledni-obrazky-026.jpg.html>
26. UKB. *3 D-Modely dvoustanicový nástroje* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://www.ukb-gmbh.de/es/produkty/ukb-specialni-ohranovaci-nastroje/3d-modely-dvoustanicovy-nastroje/>
27. AMADEUS FIN. *CNC ohraňování (ohýbání)* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://www.amadeusfin.cz/21864/cnc-ohranovani/>
28. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření – stříhání* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Technologie II – tváření kovů. [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm#065
29. FAM TOOLS. *Postupové sdružené nástroje* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy>
30. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. U.S. (USA): Industrial Press Inc., 2005. ISBN 978-08-311-3259-0.
31. TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. *Akademie tváření: Stříhání. MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
32. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL, 1980.
33. BIRZER, Franz. *Forming and fineblanking: cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts*. 1st edition. Landsberg/Lech: Verl. Moderne Industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4.
34. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřtle: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: ÚNM, 1977.

-
35. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření – ohýbání* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Technologie II – tváření kovů. [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
 36. KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje*. 3. vyd. Praha: MON, 1989. ISBN 80-214-1037-X.
 37. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické. 1992. ISBN 80-214-0401-9.
 38. KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje II*. Vyd. 2. Brno: Ediční středisko Vysokého učení technického v Brně. 1989. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1038-8.
 39. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006/2007 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobnni-stroje-a-zarizeni.html>
 40. ŠMERAL. *Výstředníkové lisy* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/46/s-250>
 41. ŠMERAL. *Hydraulické slisovací lisy* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/52/cys-320>
 42. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. *Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologie-technologie-konstrukce-pri-ohybani>
 43. ŠMERAL. *Výstředníkové lisy* [online]. [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/44/s-160-e>
 44. MILATA. *Ceník – výkup nerezí* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.milata.cz/cenik-nerez/>
 45. ENERGIE 123. *Aktuální (průměrná) cena 1 kWh elektřiny* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
 46. AMBROŽ, Oldřich, Milan HORÁČEK a Zdeněk MACHÁČEK. *Technologie slévání, tváření a spojování: laboratorní cvičení*. Brno: VUT Brno, 1989. ISBN 80-214-0043-9.
 47. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://citacepro.com>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	šířka výstřížku	[mm]
A _c	celková práce	[J]
A _o	ohybová práce	[J]
A _s	střížná práce	[J]
A _t	délka tabule	[mm]
a	minimální vzdálenost otvoru od ohybu	[mm]
B	délka výstřížku	[mm]
B _t	šířka tabule	[mm]
B _s	šířka svitku	[mm]
B _Z	bod zvratu	[ks]
b	šířka ohybu	[mm]
b _l	minimální délka ramene	[mm]
b _v	šířka průřezu střížníku	[mm]
C	součinitel	[-]
C _{kWh}	cena za 1 kWh	[Kč]
C _o	cena za odpad	[Kč]
C _{o/kg}	cena za 1 kg odpadu	[Kč]
C _s	cena potřebných svitků plechu	[Kč]
C _{s/kg}	cena za 1 kg oceli	[Kč]
c	koeficient	[-]
D	průměr otvoru před prolisováním	[mm]
D _s	vnější průměr svitku	[mm]
d	průměr otvoru po prolisování	[mm]
d _s	vnitřní průměr svitku	[mm]
d _v	průměr průtažníku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
E _m	můstek	[mm]
F	postranní odpad	[mm]
F _c	celková síla	[N]
F _l	lemovací síla	[N]
F _N	variabilní náklady	[Kč]
F _o	ohybová síla	[N]
F _s	střížná síla	[N]
F _{Smax}	maximální střížná síla	[N]
H	výška střížnice	[mm]
h	dráha ohybníku	[mm]
h _{el}	hloubka elastického vniknutí	[mm]
h _{pl}	hloubka plastického zatlačení	[mm]
h _s	hloubka vniku střížné hrany	[mm]
h _v	délka průřezu střížníku	[mm]
I	kvadratický moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]
I _o	kvadratický moment setrvačnosti kruhového průřezu	[mm ⁴]
I _{obd}	kvadratický moment setrvačnosti obdélníkového průřezu	[mm ⁴]
K	krok	[mm]
l	délka stříhu	[mm]
l _c	celková délka rozvinutého tvaru	[mm]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
l_{krit}	kritická délka	[mm]
l_o	délka ohnutého úseku	[mm]
l_r	délka rovného úseku	[mm]
l_s	délka rozvinutého svitku	[mm]
l_u	rameno ohybu	[mm]
m_k	hmotnost konzole	[kg]
m_{ks}	hmotnost konzolí pro sérii 200 000 ks	[kg]
m_o	hmotnost odpadu	[kg]
m_s	hmotnost svitku	[kg]
m_z	hodinová mzda zaměstnance	[Kč]
N	počet kusů výstřižků	[ks]
N_C	celkové náklady	[Kč]
N_{Cj}	náklady na jednu konzoli	[Kč]
N_{CTj}	tržní cena jedné konzole	[Kč]
N_{el}	náklady za energie	[Kč]
N_{es}	náklady za energie pro provoz lisu	[Kč]
N_{ev}	náklady za energie pro provoz výrobní linky	[Kč]
N_m	náklady na materiál	[Kč]
N_{mz}	náklady na mzdy	[Kč]
N_n	náklady na nástroj	[Kč]
N_{oz}	náklady na omílání a výrobu závitů	[Kč]
N_{rs}	náklady za režii a správu	[Kč]
n	součinitel otupení	[-]
n_{ss}	počet potřebných směn pro výrobu série	[ks]
n_p	počet celých pásů z jedné tabule	[ks]
n_t	počet tabulí pro sérii	[ks]
n_{ts}	počet svitků pro sérii	[ks]
n_v	počet celých výstřižků z pásu	[ks]
n_{vs}	počet výstřižků z jedné tabule	[ks]
n_{vt}	počet celých výstřižků ze svitku	[ks]
n_z	počet zdvihů	[min ⁻¹]
P_s	příkon zvoleného stroje	[kW]
p_{ss}	počet součástí za směnu	[ks]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr ohybu	[mm]
r_{hs}	poloměr dosedací hlavy střižníku	[mm]
S	střižná plocha	[mm ²]
S_{hs}	plocha dosedací hlavy střižníku	[mm ²]
S_t	plocha polotovaru	[mm ²]
S_v	plocha výstřižku	[mm ²]
S_{vo}	plocha výstřižků bez nezbytného odpadu	[mm ²]
s	tloušťka materiálu	[mm]
t_p	denní pracovní doba	[hod]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
t_s	pracovní čas směny	[hod]
V_N	variabilní náklady	[Kč]
v	střížná vůle	[mm]
x_T	souřadnice těžiště na ose x	[mm]
x_i	souřadnice působících sil na ose x	[mm]
z	střížná mezera	[mm]
x	součinitel posunutí neutrální vrstvy	[-]
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
ε_c	mezní prodloužení	[-]
η	využití polotovaru	[%]
η_s	využití jednoho svitku	[%]
η_t	využití tabule plechu	[%]
η_{vs}	využití všech svitků	[%]
λ	součinitel plnosti	[-]
μ	součinitel tření	[-]
μ^k	součinitel bezpečnosti	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
ρ_o	hustota nerezové oceli	[kg·m ⁻³]
σ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
σ_s	napětí na dosedací ploše	[MPa]
τ_s	mez pevnosti ve stříhu	[MPa]
ψ	součinitel plnosti diagramu	[-]

Zkratky

Označení	Legenda
DÚ	dolní úvrat'
TOO	tepelně ovlivněná oblast

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list oceli X5CrNi18-10
Příloha 2 Doporučené materiály částí nástroje
Příloha 3 Grafy ke stanovení můstků a postranních odpadů

Seznam výkresů

- Konzole příchytky; 2022-BP-208633-01
Průtažník; 2022-BP-208633-02
Střížník tvaru L; 2022-BP-208633-03
Střížník tvaru I s drážkováním; 2022-BP-208633-04
Střížník tvaru I; 2022-BP-208633-05
Odstřihávací střížník, 2022-BP-208633-06
Střížnice; 2022-BP-208633-07
Ohybník; 2022-BP-208633-08
Ohybnice; 2022-BP-208633-09
Sestava postupového sdruženého nástroje; 2022-BP-208633-10
Kusovník; 2022-BP-208633-11

Wnr. (Číslo materiálu) 1.4301		Cr-Ni austenitická korozivzdorná ocel				OCEL Kurzname (značka) X5CrNi18-10	
Chemické složení [hm. %]							
C	Si	Mn	P	S ¹⁾	Cr	Ni	N
max 0,07	max 1,00	max 2,00	max 0,045	max 0,015	17,0–19,5	8,00–10,5	max 0,11
Normy DIN							
DIN EN 10088 /1-3-95 korozivzdorné oceli							
DIN EN 10028/7-97 ploché výrobky z ocelí na tlakové nádoby; korozivzdorné oceli							
DIN EN 100222/5-00 výkovky z ocelí na tlakové nádoby; martenzitické, austenitické a austeniticko-fertické korozivzdorné oceli							
DIN EN 10250/4-00 volné výkovky z oceli pro všeobecné použití; korozivzdorné oceli							
DIN EN 10269-99 oceli a niklové slitiny na upevňovací části pro zvýšené a/nebo snížené teploty							
DIN 4133-91 ocelové komíny							
DIN 5512/3-91 oceli na kolejová vozidla; ploché výrobky z korozivzdorných ocelí							
DIN 17440-96 korozivzdorné oceli; plech, pás válcovaný za tepla a válcované tyče na tlakové nádoby, tažený drát a výkovky							
DIN 17441-97 korozivzdorné oceli; pás válcovaný za studena na tlakové nádoby							
DIN 17442-77 vývalky, výkovky a odlitky z korozivzdorných ocelí na lékařské nástroje							
Mechanické vlastnosti							
Rozměr t, d [mm]		≤ 6 ²⁾	≤ 12 ³⁾	≤ 75 ⁴⁾	≤ 160 ⁵⁾ 10)	161–250 ⁶⁾	
Stav		po rozpouštěcím žhání					
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa] min		230 ⁹⁾	210 ⁹⁾		190 ⁹⁾		
Mez kluzu R _p 1,0 [MPa]		260 ⁹⁾	250 ⁹⁾		225 ⁹⁾		
Mez pevnosti R _m [MPa]		540–750	520–720		500–700		
Tažnost A [%] min		45 ⁹⁾ 7)		45 ⁹⁾	45 ⁹⁾	35 ⁹⁾ 9)	
Kontrakce Z [%]							
Nárazová práce KV [J]	podél min	–		90	100 ⁹⁾	–	
	napříč min	–		60	–	60 ⁹⁾	
Tvrdost HB max		–		–	215 ⁹⁾		
Modul pružnosti E [GPa]		200					
Rozměr l ₀ [mm]		250 ¹¹⁾					
Stav		po rozpouštěcím žhání					
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa] min		200					
Mez kluzu R _p 1,0 [MPa]		230					
Mez pevnosti R _m [MPa]		500–700					
Tažnost A %	podél min	45					
	napříč min	35					
Kontrakce Z [%]							

Nárazová práce KV [J]	podél min	100									
	napříč min	60									
KV ⁻¹⁹⁶ [J]	podél min	100									
	napříč min	60									
Modul pružnosti E [GPa]		200									
Min. hodnoty meze kluzu R _{p0,2} a R _{p1,0} a meze pevnosti R _m při zvýšených teplotách (stav po rozpouštěcím žhání)											
Teplota [°C]		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Mezi kluzu [MPa]	R _{p0,2}	155	140	127	118	110	104	98	95	92	90
	R _{p1,0}	190	170	155	145	135	129	125	122	120	120
Mez pevnosti R _m [MPa]		450	420	400	390	380	380	380	375	360	335
Hodnoty pevnosti v tahu, tažnosti a nárazové práce ve zpevněném stavu											
Označení		C700	C800	C850	C1000	C1150	C1300				
Mez pevnosti R _m [MPa]		700–850	800–1000	850–1000	1000–1150	1150–1300	1300–1500				
Tažnost A [%] min		20	12	–	–	–	–				
Nárazová práce	KV [J] min	80	–	–	–	–	–				
	KV ⁻¹⁹⁶ [J] min	50	–	–	–	–	–				
Mechanické vlastnosti při nízkých teplotách											
Teplota [°C]		-150					-196				
Mez kluzu R _{p0,2} [MPa] min		370					400				
Mez pevnosti R _m [MPa] min		1400					1500				
Tažnost A [%] min		40					35				
Nárazové práce KV [J] min		60					60				
Hodnoty modulu pružnosti E při zvýšených teplotách											
Teplota [°C]		100	200	300	400	500					
Modul pružnosti E [GPa]		194	186	179	172	165					
Fyzikální vlastnosti											
Hustota		Měrná tepelná kapacita		Teplotní součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost		Rezistivita			
ρ [kg . m ⁻³]		c _p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]		α [K ⁻¹]		λ _t [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]		[Ω . mm ² . m ⁻¹]			
7 900		500		16.10 ⁻⁶		15		0,73			
Odolnost proti degračním procesům											
ODOLNOST PROTI MEZIKRYSTALOVÉ KOROZI											
– v dodávaném stavu: ano											
– po zcítlivění: ne											
Technologické údaje											
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ											
rozpouštěcí žhání		1000–1100 °C	ochlazovat ve vodě nebo na vzduchu ⁶⁾								
TVAŘITELNOST											
teploty tváření		1200–900 °C	ochlazovat na vzduchu								

SVAŘITELNOST					
svařitelná všemi obvyklými postupy					
Použití					
Přístroje v potravinářském průmyslu (svařitelná, dobře lešitelná, zvláště hlubokotažná, odolná proti opotřebení).					
Ostatní vlastnosti					
magnetovatelnost: ne					
Porovnání se zahraničními materiály					
<i>ISO</i>		<i>EURO</i>		<i>Česká republika</i>	
X5CrNi18-9E	ISO 4954-93	X5CrNi18-10	EN 10088/1-3-95	X5CrNi18-10	ČSN EN 10088/1-3-97
X5CrNi18-9	ISO 9328/5-91	X5CrNi18-10	EN 10028/7-97	X5CrNi18-10	ČSN EN 10028/7-99
X5CrNi18-9	ISO 9329/4-97	X5CrNi18-10	EN 10222/5-00	17 240	ČSN 41 7240
X5CrNi18-10	ISO 6931/2-89	X5CrNi18-10	EN 10250/4-00		
M 11	ISO 7153/1-91	X6CrNi18-10 KD	EN 119-74		
<i>Francie</i>		<i>Velká Británie</i>		<i>Rusko</i>	
X5CrNi18-10	NF EN 10088/1-3-95	X5CrNi18-10	BS EN 10088/1-3-95	08Ch18N10	GOST 5632-72
X5CrNi18-10	NF EN 10028/7-97	X5CrNi18-10	BS EN 10028/7-97		
Z6CN18-09	NF A36-209-90	304S15	BS 970/1-91		
Z4CN19-10	NF A35-577-90	LW 21	BS 6323/8-82		
		LWCF 21	BS 6323/8-82		
<i>USA</i>		<i>Japonsko</i>		<i>Kanada</i>	
304	AISI	SUS 304	JIS G3448-88		
304 H	AISI	SUS 304	JIS G3468-88		
30304	SAE J405	SUS 304	JIS G4303-99	-	-
Type304	ASTM A167	SUS 304	JIS G4304-99		
Gr. F 304	ASTM A182	SUS 304	JIS G4305-99		
<i>Itálie</i>		<i>Rakousko</i>		<i>Švédsko</i>	
X5CrNi18-10	UNI EN 10088/1-3-95	X5CrNi18-10	ÖNORM EN 10088/1-3-95	X5CrNi18-10	SS EN 10088/1-3-95
X5CrNi18-10	UNI EN 10028/7-97	X5CrNi18-10	ÖNORM EN 10028/7-97	X5CrNi18-10	SS EN 10028/7-97
X5CrNi18-10	UNI 6904-71	X5CrNi18-10KKW	ÖNORM EN M3121-91	2332	SS 142332
X5CrNi18-10KT	UNI 7660-77	X5CrNi18 10S	ÖNORM EN 3120-86	2333	SS 142333
X5CrNi18-10KW	UNI 7660-77				
<i>Polsko</i>		<i>Maďarsko</i>		<i>Norsko</i>	
0H18N9	PN H-86020-71	X5CrNi18-10 KO 33	MSZ EN 10088/1-3-95 MSZ 4360-87	X5CrNi18-10 X5CrNi18-10 14350	NS EN 10088/1-3-95 NS EN 10028/7-99 NS 14350

<i>Finsko</i>		<i>Švýcarsko</i>		<i>Španělsko</i>	
X5CrNi18-10	SFS EN 10088/1-3-95	X5CrNi18-10	EN 10088/1-3-95	X5CrNi18-10	UNE EN 10088/1-3-95
X5CrNi18-10	SFS EN 10028/7-99	X5CrNi18-10	EN 10028/7-99	X5CrNi18-10	UNE EN 10028/7-99
X4CrNi18 9	SFS 725			X5CrNi18 10	UNE 36016/1,2-90,89
				X5CrNi18 10	UNE 36087/4-89
				F.3504	UNE 36016/1,2-90,89
<i>Austrálie</i>		<i>Belgie</i>		<i>Bulharsko</i>	
304	AS 1449-94	X5CrNi18-10	NBN EN 10088/1-3-97	X5CrNi18-10	BDS EN 10088/1-3-99
304	AS 2837-86	X5CrNi18-10	NBN EN 10028/7-99	OCh18N10	BDS 6738-72
<i>Brazílie</i>		<i>Čína</i>		<i>Jugoslávie</i>	
E 304	Br.400	0Cr18Ni9	GB 4239-91	-	-
V-304	Br.800	0Cr19Ni9	GB 12770-91		
<i>Rumunsko</i>		-		-	
X5CrNi18-10	STAS EN 10088/1-3-99	-	-	-	-
5NiCr 180	STAS 3583-97				

Poznámky

- 1) pro výrobky určené k obrábění je doporučen a povolen obsah S = 0,015–0,030 %
- 2) pás válcovaný za studena
- 3) pás válcovaný za tepla
- 4) plech válcovaný za tepla
- 5) tyče a válcované dráty
- 6) napříč
- 7) pro materiál rovnaný protahováním je min hodnota o 5% nižší
- 8) nad 2 mm tloušťky pouze ve vodě
- 9) pro válcované dráty platí pouze hodnota meze pevnosti
- 10) pro profily a tyče s $t \leq 35$ mm tvářené za studena platí: HB = max 315, $R_m = 500-900$ MPa, A = min 36%
- 11) výkovky

Část nástroje	Materiál	Teplotné zpracování
Vodící stojánky - desky, sloupky, pouzdra	422456, 422661, 11500 12061, 14220	cementováno do hl. 0,5 mm HRC = 60 - 62
Stopky	11600	
Střížníky	19191, 19312, 19436, 19437, 19421	HRC = 61 - 63
Střížnice	19191, 19312, 19436 19437	HRC = 60 - 62
Dorezy	12061, 19312, 19191, 19436, 19437	HRC = 56 ± 2
Pouzdra ke střížníkům	19312	HRC = 52 - 56
Vodící, kotvení a upínací desky	11500, 12090	
Upínky	11500	
Základové desky střížadel bez vedení	422424, 11375	
Stírače	12061, 19191	
Vodící lišty	11600, 14220	cement., HRC = 60-62
Palce k vodícím lištám	14220	cement., HRC = 60-62
Hledáčky	14220, 19191, 19421	HRC = 56 - 60
Ohybník, ohybnice	19191, 19312, 19436, 19437	HRC = 55 - 60
Tažník, tažnice	12061, 19191, 19436, 19437, 422456	HRC = 58 - 63
Základové desky tažidel	422456, 422661	
Přidržovače u tažidel	19191, 19436 12061, 422456	HRC = 61 - 63

